

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní – Ústav procesní a zpracovatelské
techniky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Energetická řešení vzdálených oblastí

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Miškovský** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **437290**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Energetická řešení vzdálených oblastí

Název bakalářské práce anglicky:

Energy solutions of remote areas

Pokyny pro vypracování:

Získejte přehled o možnostech získávání energie ve vzdálených oblastech.
Zpracujte rešerši zaměřenou na alternativní a konvenční energetické zdroje.
Na základě získaných poznatků doporučte energetické řešení pro zadaný případ.

Seznam doporučené literatury:

Yingjie T., Lasantha M., Kashem M., A review of technical challenges in planning and operation of remote area power supply systems, 2014, Renewable and Sustainable Energy Reviews 38, p.876?889
Nima I., Hwai Ch., et al. Resource assessment of the renewable energy potential for a remote area: A review, 2016, Renewable and Sustainable Energy Reviews 62, p.908?923

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

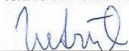
Ing. Michal Netušil Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **10.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **09.06.2017**


Platnost zadání bakalářské práce: _____



Podpis vedoucí(ho) práce



Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



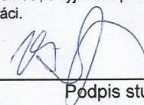
Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

24-04-2017

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Souhlasím také s případnou publikací výsledků diplomové práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

Dne.....

Podpis.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří mi s prací pomohli. Speciálně mému vedoucímu Ing. Michalu Netušilovi Ph.D. za poskytnutá data a za trpělivost. Také bych na tomto místě rád poděkoval svým rodičům, za jejich zdaleka ne jen materiální podporu při celém dosavadním studiu.

Abstrakt

Teoretická část této práce se zabývá různými zdroji energie, které mohou být použity v odlehlých oblastech, případně skladováním takto vyrobené energie. Praktická je o hledání vhodného technického řešení pro zadaný případ, ke kterému mi byla poskytnuta vstupní data a několik již zpracovaných možných řešení. Tato řešení jsem znovu prošel a navrhl dvě vlastní alternativy. V závěru jsem pro stanovení pomyslného pořadí variant použil multikriteriální vyhodnocovací metodu.

Klíčová slova: odlehlá oblast, energetika, obnovitelné zdroje, multikriteriální vyhodnocovací metoda

Abstract

Theoretical part of this bachelor thesis consist of overview of both renewable and fossil energy sources and storage of energy produced that way. Practical part is about finding suitable technical solution for specific case which was given to me in the beginning along with possible solutions. I went back and reviewed solutions where some calculations had been already made and added two options of my own. In the end I set up multicriterial decision method in order to make sort of ranking.

Keywords: remote area, energetics, renewable energy, multicriterial decision method

Obsah

1.	Seznam obrázků	7
2.	Seznam tabulek	8
3.	Úvod	9
4.	Obnovitelné zdroje	10
4.1.	Vítr	11
4.2.	Slunce	13
4.3.	Geotermální energie	16
5.	Klasické zdroje	17
5.1.	LPG.....	17
6.	Baterie	18
6.1.	Klasické baterie.....	18
6.2.	Hydridy	20
6.3.	Zeolity	21
7.	Definice zadání	22
7.1.	Technologie KTL.....	22
8.	Současně uvažovaná řešení.....	23
8.1.	Zemní plyn	23
8.2.	LPG.....	25
8.3.	Elektřina.....	26
8.4.	Tepelné čerpadlo.....	28
9.	Navržená řešení.....	30
9.1.	Parabolické koryto.....	30
9.2.	Fotovoltaické panely	33
10.	Vyhodnocení.....	36
10.1.	Multikriteriální vyhodnocovací metoda	36
10.2.	Návratnost.....	40
10.3.	Shrnutí	41
11.	Závěr	43
12.	Seznam použité literatury	44

1. Seznam obrázků

Obrázek 1: Potenciál jednotlivých zdrojů energie [36]	10
Obrázek 2: Plocha kolektorů pro pokrytí roční spotřeb [36].....	11
Obrázek 3: Schéma zařízení [4]	15
Obrázek 4: Schéma funkce kogenerační jednotky [38]	18
Obrázek 5: Schéma LPG [39]	26
Obrázek 6: Spotřeba elektřiny za červenec.....	27
Obrázek 7: Spotřeba elektřiny za leden.....	27
Obrázek 9: Závislost účinnosti a výstupní teploty na teplotě okolí [21]	31
Obrázek 8: Závislost účinnosti a výstupní teploty na záření [21]	31
Obrázek 10 : Závislost teploty média na účinnosti systému [22]	32
Obrázek 11: Celkové sluneční záření [25]	35
Obrázek 12: Vyrobená elektrická energie [25].....	35
Obrázek 13: Schéma použitých kritérií.....	36

2. Seznam tabulek

Tabulka 1: Typy větrných elektráren [37].....	12
Tabulka 2: Dosažené hodnoty různých zeolitů [13]	21
Tabulka 3: Odběry KTL linky připravované haly	24
Tabulka 4: Ostatní odběry v areálu	24
Tabulka 5: Parametry uvažovaného tepelného čerpadla.....	29
Tabulka 6: Parametry parabolického koryta z rešerše [4].....	30
Tabulka 7: Vydatnost slunečního záření dle počasí [23]	32
Tabulka 8: Parametry produktu SkyFuel [22]	32
Tabulka 9: Denní dávka slunečního záření podle měsíců [23]	34
Tabulka 10: Parametry fotovoltaického panelu Q.PEAK [31].....	34
Tabulka 11: Kritéria a jejich váha	37
Tabulka 12: Hodnoty parametrů	37
Tabulka 13: Příklad přidělení bodů.....	38
Tabulka 14: Souhrnná tabulka.....	39
Tabulka 15: Návratnost	40
Tabulka 16: Celkové náklady	41

3. Úvod

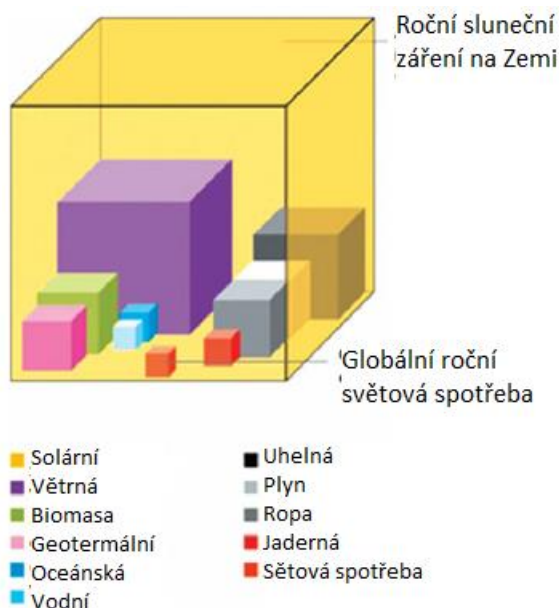
Cílem této práce je získat přehled o možnostech získávání energie v odlehlých oblastech se špatným, nebo žádným zasítováním. Na první pohled se může zdát, že jde jen o pouště, ostrovy a podobná místa, která si představíme jako druhý konec světa. Je sice pravdou, že studie na toto téma pocházejí většinou ze zemí Jižní Ameriky, Afriky nebo států jako Indie. Takováto místa se ale vyskytují i v Evropě, i v České republice. Nejde zde typicky o geografickou nepřístupnost či extrémní podnebí ale o historický vývoj. Technologická řešení pro tato místa ale najdou uplatnění i v mnoha jiných případech. Centralizovaná výroba energie je dnes naprostou samozřejmostí. Složení onoho energetického „koláče“ má každá země jiná, naprostá většina z nich ale ve velké míře spoléhá na fosilní paliva, což sebou nese mnohá negativa, od vypouštěných emisí po fakt, že za delší dobu jednoduše dojdou. To celé vede k volání po využívání obnovitelných zdrojů k výrobě energie. I tyto zdroje ale mají nevýhody, a to zejména nestabilní výkon, který jsou schopny dodávat do sítě. V daleké budoucnosti se tak může stát, že centralizovaná síť jednoduše nebude dostatečně vyrovnávat mezery mezi špičkou odběrovou a špičku výrobní. Právě zde nastupuje technologie, dnes spjatá právě s řešením dodávek energie pro odlehlá místa. I pár procent spotřeby, které si rodinný domek stačí přes den vyrobit, uskladnit a v podvečer použít, je dobrý začátek. Tolik tedy k obecné motivaci.

Konkrétním úkolem této práce je doporučit energetické řešení pro relativně odlehlou oblast v České republice. Výrobní závod se rozhodl přistavit novou halu s technologií povrchových úprav, stávající koncepce spoléhající výhradně na elektřinu ze sítě se ale zdála být nedostatečná, nehledě na vysoké náklady na kilowatthodinu. Je tedy potřeba zvolit technologii novou, která co nejlépe splní všechna kritéria. Byla mi poskytnuta vstupní data a několik již rozpracovaných řešení. Veškeré materiály jsem si tedy pečlivě prošel, řešení jsem se pokusil shrnout a na základě vstupních dat jsem navrhl dvě další. Nakonec jsem se pokusil stanovit náznak pořadí možných variant pomocí multikriteriální vyhodnocovací metody na základě několika kritérií, která se mi zdála důležitá, případně jsou důležitá pro investora: pořizovací cena, měrné výrobní náklady na kWh, roční využití výkonu, energetická návratnost EROEI a uhlíková stopa technologie.

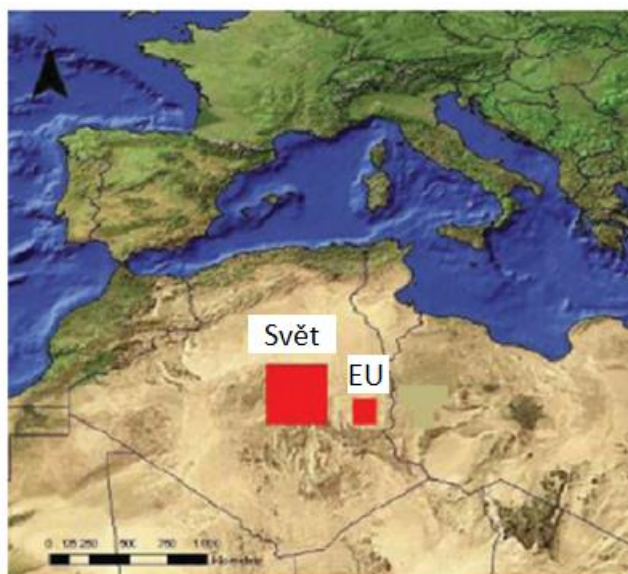
4. Obnovitelné zdroje

Obnovitelná energie je taková, která je vyráběna z obnovitelného přírodního zdroje, příroda si ho tedy vytváří sama. Patří sem energie vody, větru, slunečního záření, biomasy a mnoho dalších. Trend posledních let je právě ve využívání těchto energetických zdrojů a jejich postupným nástupem na místa tradičních fosilních paliv, ať už je to snahou o redukce emisí CO₂, energetickou nezávislost států atd. Hlavním problémem při zavádění těchto technologií je nyní pořizovací cena, která ale stále klesá, zejména u solárních systémů, kdy fotovoltaické panely zlevnily za posledních několik let o desítky procent. Další obtíží je nedostatečná korelace výkonu a spotřeby, tedy potřeby energii skladovat nebo využívat jinde. V tomto směru se opět potkáváme s ekonomickou stránkou věci, ale i s nízkou účinností systémů. Častým nástrojem v překonávání překážek pro masovější používání obnovitelných zdrojů jsou dotace, ať už jsou to (v našem prostředí) granty Evropské unie, nebo nejrůznější vládní pobídky ve formě např. vyšší výkupní ceny „zelené“ elektřiny. Pro menší aplikace, autonomní i připojené k odběrné síti, je cestou kombinace zmíněných zdrojů, protože málokdy a málokde si můžeme dovolit spoléhat se pouze na jeden zdroj, jelikož jeho vydatnost je velmi výrazně ovlivňována počasím.

Následující grafy ilustrují využitelný potenciál zejména solární energetiky. V prvním vidíme, že potenciál všech obnovitelných zdrojů bohatě stačí na pokrytí roční světové energetické spotřeby. Druhý obrázek doplňuje geografický kontext onoho solárního potenciálu, kdy vidíme plochu asi 150 x 150 kilometrů pokrytou fotovoltaickými panely, která podle autorů pokryje roční spotřebu EU, respektive spotřebu světovou. Je ho však třeba brát s rezervou. V této souvislosti je dobré připomenout potřebu energii přepravovat či skladovat, protože i vedení VVN by na této vzdálenosti vykazovalo nezanedbatelné ztráty.



Obrázek 1: Potenciál jednotlivých zdrojů energie [36]



Obrázek 2: Plocha kolektorů pro pokrytí roční spotřeb [36]

4.1. Vítr

Historie

Již před stoletími se uskutečnily první pokusy využít energii větru. Jako nejstarší se našly větrné mlýny s vertikální osou na Persko-Afghánské hranici datované kolem roku 200 př.n.l. Až o mnoho později následovaly ve Středomoří a Holandsku klasické mlýny s horizontální osou (1300-1875 p.n.l.). Další evoluce a zdokonalení tohoto systému byly provedeny v USA v 19. století, kde bylo používáno až 6 milionů malých zařízení pro pumpování vody ze země. První opravdová „elektrárna“, určená pro malé rychlosti o výkonu 12 kW, byla instalována v roce 1888 v Clevelandu v Ohio. V průběhu První světové války se v Dánsku rozšířilo používání 25 kW strojů. Další vývoj byl inspirován zejména letectvím, např. designem monoplánů a vrtulí obecně. Evropský poválečný vývoj ukázal, že větrné turbíny ve velkém měřítku by mohly fungovat. V Dánsku ve městě Gedser na nejjižnějším výběžku země stála turbína s tříčepelovým rotorem o výkonu 200 kW, která běžela od roku 1957 do 1967 bez zásadních oprav a údržby. V USA se zase po ropné krizi v roce 1973 rozhodli pro vládní program na podporu výzkumu větrné energetiky. To ve výsledku vedlo k instalaci přes 16 000 zařízení v Kalifornii o celkovém výkonu 1,7 GW mezi lety 1981 a 1990. Právě po roce 1990 se většina aktivit opět přesunula do Evropy a v následujících asi dvaceti letech do celého světa, kde se jí zabývají největší hráči na trhu. [1]

Druhy

Základní dělení můžeme načrtnout podle typu osy – vertikální (VAWT) nebo horizontální (HAWT).

Ty výrazně častější s horizontální osou jsou běžně s třemi listy a s výškou přes 100 metrů. Platí zde přímá úměra čím vyšší a delší listy, tím víc elektřiny.

Turbíny s vertikální osou mají listy, které jsou upevněny „nahore“ a „dole“ ve vertikálním rotoru. Nejčastějším typem je Darreiova turbína, která bývá svou podobou přirovnávána k obrovskému šlehači vajíček. Některé verze vertikálních turbín jsou přes 30 metrů vysoké a i 15 metrů široké. Důvod proč nejsou dnes tak hojně využívány, je prostý- jejich výkon je při srovnatelných velikostech a podmínkách menší než klasických horizontálních turbín.

Dělení, které bude v našem případě relevantnější, je dělení podle výkonu na malé (domácí), střední a velké. Dále se mohou rozlišovat ještě mini, mikro a uvažuje se i o zavedení kategorie nano, kam by spadaly výkony pod 0,25 kW.

Typ	Průměr rotoru (m)	Plocha točení rotoru (m ²)	Standardní jmenovitý výkon (kW)	Rychlost větru v oblasti	Dlouhodobé aplikace
Velké	50–100	1963–7854	1000–3000	Velmi vysoké	Veliká síťová výroba. Offshore i onshore větrné farmy
Střední	20–50	314–1963	100–1000	Vysoké	Malé větrné farmy (chytré sítě aplikovatelné v odlehlých oblastech)
Malé	10–20	79–314	25–100	Dobré	Obytné zóny, pumpování vody, telekomunikační sítě
Domácí	3–10	7–79	1.4–16	Mírné	Hybridní systémy
Mini	1.25–3	1.2–7.1	0.25–1.4	Nízké	Aplikace integrované přímo do střešních konstrukcí
Mikro	0.5–1.25	0.2–1.2	0.004–0.25	Velmi nízké	Nízko silové aplikace

Tabulka 1: Typy větrných elektráren [37]

Malé větrné turbíny

V literatuře se setkáme s označením *SWT*, tedy Small Wind Turbine. Tato kategorie je definována plochou rotace rotoru do 200 m², ale jak vidíme v tabulce, definice se liší. Co by nás ale mohlo pro naši pozdější aplikaci zajímat, je možnost tento typ elektráren instalovat na střechy domů, dokonce i těch obytných. Studie zabývající se touto problematikou v městské zástavbě shodně poukazují na komplikaci způsobenou víry, které se v zástavbě vytvářejí a značně tak mění směr větru, to by ale nemusel být náš případ.

Domácí větrné turbíny

Běžně dostupné systémy, které lze bez potíží zakoupit na internetu. Ceny se pohybují od desítek tisíc za stovky watt až po stovky tisíc za jednotky kilowatt. Co se týče montáže, jsou dostupné obě varianty, tedy jak připojení k rozvodné síti, tak i autonomní místní síť.

Zajímavým studovaným případem byla možnost chladit a vytápět dvoupatrový obytný dům v Pekingu. Tato studie využívala kombinaci malé větrné turbíny, solárního kolektoru a tepelného čerpadla, přičemž turbína i kolektor byly instalovány na střeše domu. Systém mohl běžet ve třech režimech - pouze produkce horké vody, horká voda a vytápění nebo horká voda a chlazení. Je jasné, že přepínání mezi těmito režimy ovlivňovala teplota v budově, konkrétně byla cílována na 18-26 °C. Větrná energie v tomto konkrétním případě poskytovala 7,6 % roční spotřeby tepelných čerpadel a celková uhlíková stopa budovy se snížila o 31,3 % za rok. [2]

4.2. Slunce

Historie

V roce 1887 Heinrich Hertz objevil fotoelektrický jev a ještě v 19. století byl vyroben a patentován první solární článek. Dalších padesát let se úsilí věnovalo objasnění a zdokonalení tohoto jevu, experimentování s materiály a podobně. V padesátých letech se již v *Bell Labs* vyráběli články pro vesmírný program. Stejná instituce v 1954 oznámila vynalezení prvního využitelného křemíkového článku, který dosahoval asi 6% účinnosti. O rok později firma *Western Electric* vytvořila komerční článek s 2% činností a cenou 1 785 dolarů za watt. Postupem času se pak účinnost zvyšovala a objevovaly se různé příklady použití, od kosmických lodí po kalkulačky. Další milníky se pak týkají celkového instalovaného výkonu ve světě. Třeba roku 1999 dosáhl 1000 MW. Co se týče účinnosti, rekordní je nyní úspěch Univerzity Nového Jižního Walesu, když v roce 2016 dosáhli 34,5 % pomocí čtyřspojového mini modulu, který rozštěpí vnikající paprsek na čtyři svazky, a tak z nich dostane ještě více elektřiny. [3]

Fototermika

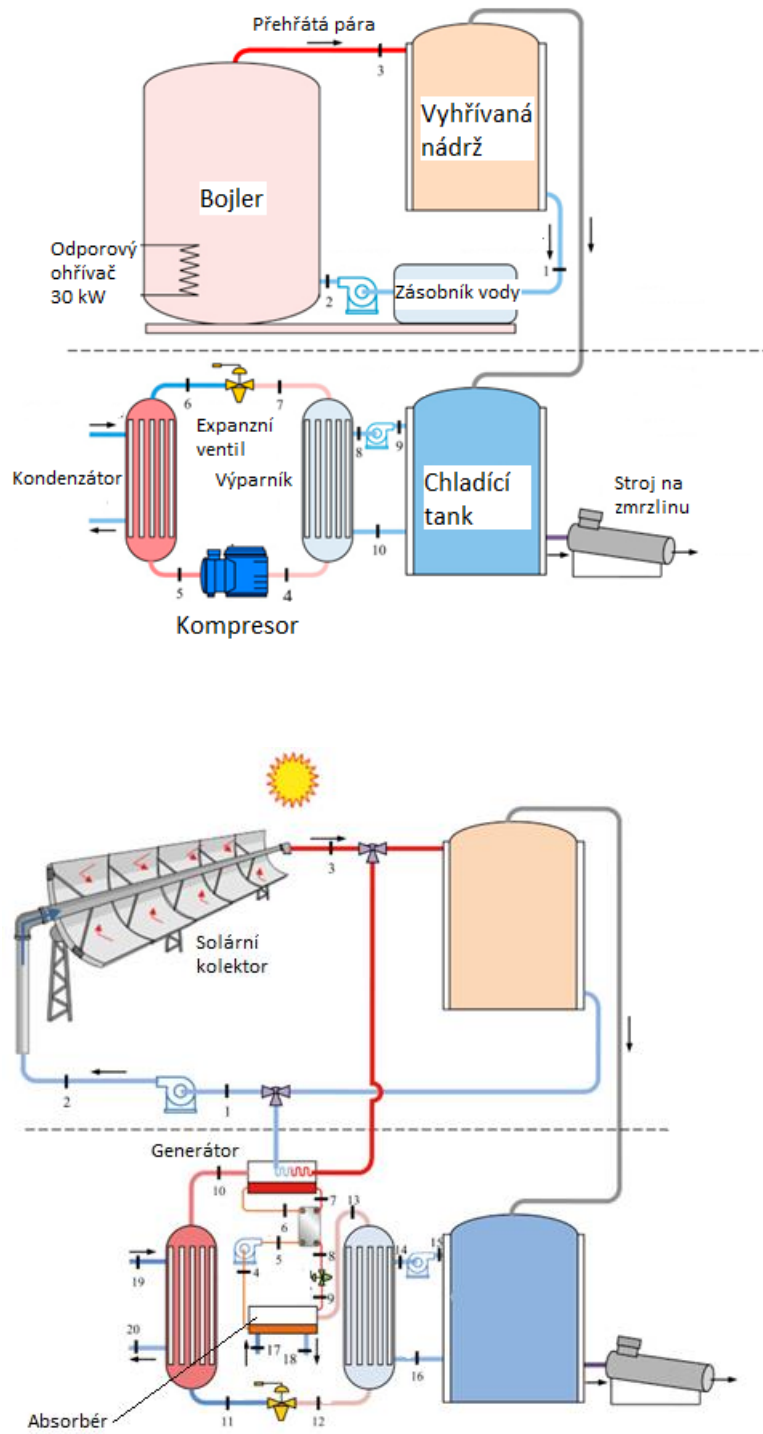
Tyto zařízení, běžně ve formě plochého, ale i například parabolického kolektoru přeměňují energii slunečního záření na energii tepelnou. Právě od tvaru zařízení se odvíjí maximální dosažitelná teplota média a účinnost zařízení při požadovaném teplotním spektru.

Fotovoltaika

Zjednodušeně výroba elektřiny z dopadajícího slunečního záření. Využívá se fotoelektrického jevu, kdy jsou elektrony uvolňovány z obalů svých atomů z látky, na kterou dopadá záření. Základní stavební kámen zařízení se nazývá fotodioda, celek je pak tvořen pospojovanými diodami, které tvoří fotovoltaický panel.

Případová studie

Pro průmyslové využití v továrně na výrobu zmrzliny byl navržen systém s parabolickými solárními kolektory. Energetické úspory mají dosáhnout 98,56 % současného stavu. Potíž s průmyslovými aplikacemi je v potřebě dosahovat vyšších teplot, proto se používají různá zakřivení kolektorů, které jsou pak schopny dosahovat i teplot 300-400 °C bez vlastní újmy. V současnosti se systém skládá z 60 kW parního bojleru, který je vyhříván elektricky, míchací nádrži vytápěné právě parou. Druhá fáze procesu je chlazení, které sestává z kompresoru, kondenzátoru, expanzního ventilu a výparníku. Místo tohoto schématu je tedy navrhováno nahrazení parního bojleru solárním kolektorem, ve kterém je jako médium využit olej Therminol VP-1. Ten následně ohřívá nádrž, ale zároveň putuje do chladicího okruhu, který je nahrazen LiBr absorpčním chladícím systémem namísto klasického kompresního systému. Solární systém tedy zásobuje obě části cyklu. [4]



Obrázek 3: Schéma zařízení [4]

4.3. Geotermální energie

Geotermální energie je tepelná energie ukrytá v zemi. Pokud se nebavíme o místech jako je například Island, kde se dá médium v zapuštěném potrubí ohřát na vysokou teplotu díky značné geotermální aktivitě, využívá tato technologie stálé teploty země, která se běžně udává 4 °C. Tepelný potenciál se liší podle místa, složení půdy a klimatických podmínek. Ve Skandinávii jsou normální hodnoty podzemní teploty 2-9 °C, v Německu 9-11 °C a v Itálii 13-17 °C. [5]

Co se týče možností a dělení vedení potrubí v podzemí, jde nejčastěji o uzavřený systém složený z plastových trubek, ve kterém koluje nemrzoucí směs (půda může na povrchu promrznout nebo potrubí vede kus venkovním prostředím). Tento uzavřený systém může být dále buď horizontální (kolektor), nebo vertikální (vrt). Zásadním kritériem při výběru je pak využitelná plocha pozemku, na které je možné položit okruh. [6] Více v příkladu 6.4.

Horizontální kolektory

Tento typ je umísťován do výkopu do hloubky kolem 1,5 metru a více, nelze ale určit pevná hodnota, vždy záleží na konkrétní aplikaci, jestli jsou trubky ve stejné hloubce, nebo se o pár desítek centimetrů liší. Zapojení okruhu může být i do smyčky, kdy se na menší plochu stočí větší délka potrubí, které je zapojené sériově nebo paralelně.

Vertikální systémy

Neboli vrty, nejčastěji do 150 metrů. „Ve větší hloubce je sice vyšší teplota horniny, ale otázkou zůstává výše nákladů na instalaci (dražší vrty a vystrojení). Proto je důležité propočítat před investicí do hlubších vrtů výši pořizovacích nákladů s předpokládaným ziskem (v podobě úspory). V systému koluje nemrzoucí směs (líh, glycerín, glykol), která je ředěná vodou na požadovanou nezámrznost. V tepelném čerpadle odevzdává teplo cca 3-5 K (energii), které následně získává ohřátím v zemi. Teplota země ve 20 metrech je cca 10 °C a roste každých 30 metrů o 1 °C – není ovlivněna vnější teplotou na povrchu, a proto můžeme mluvit o stálém zdroji tepla ať je venku -20 °C nebo +20 °C. Změna teploty vzduchu nemá na teplotu v zemi přímý vliv. Je však nutno dodat, že teplota v zemi se liší na počátku topné sezóny (září-říjen) od teploty na konci topné sezóny (březen-duben). Proto musíme počítat při výpočtu hloubky geotermálních vrtů i s délkou topné sezóny v místě instalace. Při získávání tepla prostřednictvím geotermálních vertikálních sond uložených ve vrtech se klade obzvlášť vysoký důraz na dimenzování a kvalitní vystrojení vrtů. V případě jejich dimenzování (výpočet hloubky a množství vrtů) je nutné mít k dispozici více údajů, než jsou pouze tepelné ztráty

objektu a výkon tepelného čerpadla. U vrtů musíme předem zjistit, zda je možnost odvrátat geotermální vrty do požadované hloubky v dané lokalitě.“ [7]

5. Klasické zdroje

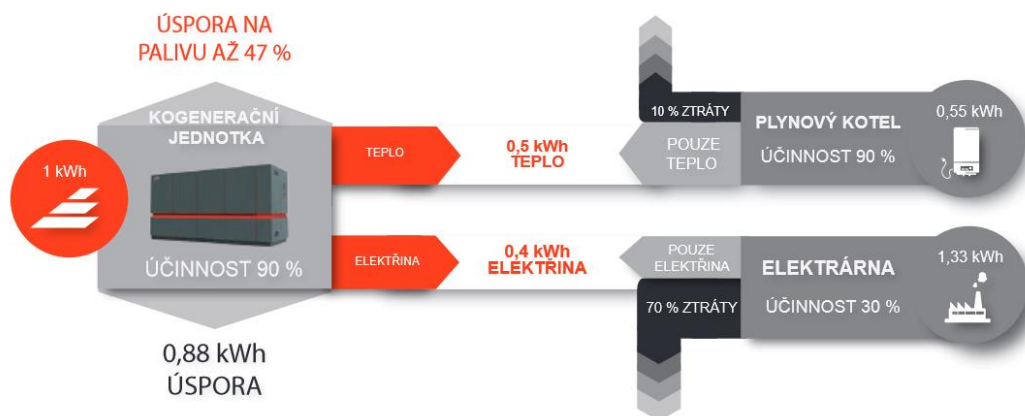
5.1. LPG

LPG, neboli zkapalněný ropný plyn (Liquified Petroleum Gas) je směs propanu a butanu, která se hojně používá jako mobilní zdroj energie. Od statického využití pro vaření a vytápění v domácnostech v odlehlejších oblastech, přes pohon automobilů až po chlazení. Vyrábí se buď extrakcí ze zemního plynu, nebo z ropy. Oproti zemnímu plynu (metanu) má vyšší energetickou hodnotu: 26,1 kWh/m³ oproti 10,6 kWh/m³. V otázce dopadu na životní prostředí je LPG šetrnější než ostatní fosilní paliva, kvantifikováno se jedná o 81 % CO₂/kWh ropy, 70 % uhlí a 50 % z elektřiny vyrobené z uhlí v distribuční síti.

Běžně se plní do tlakových lahví, které jsou z oceli. V poslední době se ale víc a víc mluví o kompozitních lahvích, které mají mnohem lepší poměr hmotnost/uskladněná energie, což je zásadní faktor především pro mobilní aplikace. Pokud se naopak v našem případě bavíme o aplikaci statické, s velkou spotřebou a plněním jednou za čas, dostaneme se k „zásobníkům“ LPG. Dají se koupit nebo jen pronajmout a dodavatel doveze další plyn cisternou, když začne docházet. Například společnost Kralupol dodává zásobníky až do velikosti 17 m³.

Kogenerační jednotky

Pokud se plyn nepoužívá přímo pro například vytápění pece, ale chceme z něj získat univerzální energii v podobě elektřiny a tepla, je jasnou volbou kogenerační jednotka. V případě zemního plynu se s ní v praxi setkáme nejčastěji. Tato technologie dosahuje až 95 % přeměny energie paliva na výsledné produkty. Dále se dá použít i k chlazení. Co je nevýhodou této technologie je potřeba spotřebovat veškeré vyrobené teplo v objektu/areálu, kde se vyrobilo. Pro ilustraci, nejmenší kogenerační jednotka na českém trhu má jmenovitý elektrický výkon 6,5 kW, maximální tepelný výkon asi 18 kWt. Ty největší naopak až skoro 10 500 kW a necelých 10 000 kWt. Čím výše ale ve výkonu jdeme, tím více přicházíme o další výhodu kogeneračních jednotek – mohou používat různé plyny: LPG, bioplyn nebo zemní plyn. [8]



Obrázek 4: Schéma funkce kogenerační jednotky [38]

Turbíny na LPG

Podobný princip jako kogenerační jednotka, jen s tím rozdílem, že se plyn nespaluje v motoru, ale v turbíně. Jde tedy o podobný princip jako v tepelné elektrárně, jen místo páry přivádíme na turbínu horké spaliny, které zde expandují. Tím se roztočí turbína, která pohání dvě další součásti. Zaprvé kompresor, který natahuje další stlačený vzduch do spalovací části a zadruhé roztáčí rotor v generátoru elektrické energie. Výhodou je jen jedna pohyblivá část, výrobci tedy proklamují nízkou údržbu a poruchovost. [9]

6. Baterie

6.1. Klasické baterie

Olověné baterie

Vynalezené v roce 1859, jde o nejstarší typ baterií. Používají tekutý elektrolyt. Princip je jednoduchý, výroba je levná, ale pomalu se nabíjí, nemohou být zcela vybity a mají omezený počet cyklů nabití/vybití. Také mají špatný poměr uskladněné energie ku vlastní váze a objemu. Další riziko představuje jejich složení, tedy olovo a kyselina sírová, která je používána jako elektrolyt.

V poslední době se však objevila mnohá vylepšení, například přidávání uhlíku do negativních elektrod, což má za následek lepší vybíjení a delší životnost. Tato, i když stará, technologie je stále

používána. Jsou instalovány společně s obnovitelnými zdroji energie, kde se propojuje několik takovýchto upravených hlubokocyklických olověných baterií až do 1 MW, například pro stabilizaci výroby z větrných farem. To samé platí pro fotovoltaické systémy, ať už mají napojení na centrální síť nebo ne.

Lithium-iontové baterie

Tento typ uspěl zejména ve spotřebitelské elektronice všemožných rozměrů a nyní se snaží o přechod na pole hybridních a elektrických vozidel. I tento druh má možnosti jak se stát síťovým úložištěm přebytečné elektrické energie, je ale potřeba aby pokračovalo snižování ceny a zvyšování životnosti. Pro komerční využití rozlišujeme tři typy: kobaltové, manganičité a fosfátové.

Nikl-kadmiové baterie

Pozitivní elektroda je vyrobena z oxidu niklu, negativní z kovového kadmia a jsou odděleny nylonovou přepážkou. Elektrolyt, který při provozu prochází značnými změnami je vodný roztok hydroxidu draselného. Při vybíjení se tak tvoří hydroxid niklu a hydroxidový iont. Hydroxid kadmia se tvoří na negativní elektrodě. Při nabíjení se reakce otočí. Tehdy se ale může tvořit malé množství kyslíku a vodíku. Z tohoto důvodu je potřeba nějaké odvětrávání a občasné dolití vody, ale podstatně méně než u starších olověných akumulátorů.

Z tohoto důvodu můžeme rozlišovat dva typy, uzavřené a větrané. Uzavřené jsou obvyklé baterie pro každodenní použití, například v dálkových ovládacích nebo lampách. Za normálních okolností z nich neunikají žádné plyny. Odvětrávané pracují stejně, ale může se z nich uvolnit plyn, pokud dochází k přílišnému nabíjení nebo rychlému vybíjení. Kyslík a vodík je uvolněn skrze nízkotlaký ventil, který tak dělá baterii bezpečnější, lehčí a ekonomičtější. Používají se ve startérech leteckých a dieselových motorů.

Tyto baterie jsou ideální pro ochranu kvality dodávky před poklesem napětí v těžkých podmínkách. V poslední době se staly populárními jako úložiště pro fotovoltaické zdroje, protože odolají i vyšším teplotám. Nicméně nepodávají příliš dobrý výkon při vyrovnávání odběrových špiček, nepoužívají se proto pro systémy, které řídí dodávky energie.

Sodíkovo-sírové baterie

Jedná se o vysokoteplotní dobíjecí baterie, které využívají kovový sodík a v současné době nabízejí zajímavé řešení pro vysokokapacitní úložiště elektrické energie. Použití zahrnuje vyrovnávání zatížení, stabilitu dodávky, vyrovnávání špiček, ale také skladování a začleňování energie z obnovitelných

zdrojů. Tento typ má vysokou hustotu absorbované energie, vysokou účinnost vybíjení a dobíjení, dlouhou životnost a je vyroben z poměrně levných materiálů. Nevýhodou je vysoká operační teplota (300-350 °C) a vysoce korozivní prostředí. Tyto články jsou tak vhodné zejména pro veliké, stacionární aplikace jako třeba síťové úložiště.

Průtokové baterie

Jedná se o systém, kde elektrolyt protéká srze elektrochemický článek, který přeměňuje chemickou energii přímo v energii elektrickou. Elektrolyt je skladován externě, většinou v nádržích, a je následně pumpován do článku, ale existují i systémy využívající pouze gravitaci. Tyto baterie mohou být rychle dobity, jednoduše se nahradí nádrž s elektrolytem. Mezitím se kontejner s již použitým elektrolytem může dobíjet.

Výhody jsou větší volnost při umístování, dlouhá životnost, rychlá odezva a žádné škodlivé emise. Na druhou stranu jde o poměrně složitá zařízení, které má mnoho externích nádrží, pump a senzorů a také mají obecně o něco nižší energetickou hustotu než klasické Li-ion baterie. [10]

6.2. Hydridy

Konvenční technologie skladování vodíku je energeticky náročná a při důrazu na mobilitu nádrží jsme odkázáni na kompozitní nádrže, které mají stále ve srovnání se současnými fosilními palivy nedostatečný poměr uskladněné energie a vlastní váhy. Proto se pracuje na vývoji nových způsobů, které jsou nyní ve fázi výzkumů. Jedná se o metody, které jsou založeny buď na chemickém (chemická reakce) nebo fyzikálním principu. V případě chemické cesty jde o tzv. hydridy. Jak již název napovídá, jde o sloučeniny vodíku, v tomto případě s kovy. Nejslibnější jsou lehké kovy, tedy hořčík, lithium, hliník apod. Princip je následující – za vysoké teploty a tlaku dojde ke sloučení vodíku a kovu. Poté, za normální teploty a tlaku, jsou hydridy stabilní, vodík se neuvolňuje. Logicky – pokud chci vodík uvolnit, musím sloučeninu opět zahřát. A právě to je důležitý faktor použitelnosti této technologie. Uvolněný vodík by následně putoval nejspíše k palivovému článku. Další faktor tedy je, kolik vodíku se uvolní – hmotnostní a objemová kapacita. Protože by bylo praktické, aby šla tato „houba“ sající vodík znovu naplnit, sleduje se také schopnost znovupoužití. Pak by šlo o podobné baterie, na které jezdí elektricky poháněná auta již dnes, jen s vodíkovým mezikrokem v podobě palivového článku. Hydridy se dají podle svého složení rozdělit na tři druhy- metalhydridy, alanáty a borohydridy. [11] [12]

6.3. Zeolity

Zeolity jsou mikroporézní geologické útvary, složené z hydratovaných alkalických kovů a kovů alkalických zemin. Právě pro svou strukturu se už nyní používají v několika odvětvích, například jako katalyzátor v průmyslových aplikacích, pro filtraci vody, při sušení a separaci plynu, jako složka zahradních substrátů a nejvíc jako detergenční složka v pracích prostředcích. V poslední době se s ním začalo experimentovat i jako s úložištěm tepelné energie. Podstatou je mechanismus označovaný jako fyzikální sorpce, tedy vstřebávání. Zeolit se nejdříve vysuší teplým vzduchem, toto představuje nabíjení. Poté, když je odběr vysoký a síť je na svém maximu, vlhký vzduch z budovy je hnán přes reaktor se zeolitem, který při přijímání vlhkosti uvolňuje teplo. Toto teplo je poté ve výměníku používáno pro ohřev vzduchu zvenčí.

Při několika pokusech byly získány tyto hodnoty

Systém	Hustota energie [kWh/m ³]	Maximální výkon [kW]
MODESTORE	50	1,0
SPF	57,8	1,8
MONOSORP	120	1,5
Zettl et al.	103	1,5

Tabulka 2: Dosážené hodnoty různých zeolitů [13]

Přetrvávajícím problémem je ale potřeba konstantního výkonu. Proto se nyní hledá způsob, jak zajistit stabilní dodávku tepla po dobu alespoň 2 hodin, s přijatelnou velikostí reaktoru a účinností. [13]

Elektrolýza vody

Vodík je v současnosti vyráběn zejména z klasických fosilních paliv. Bezemisní alternativu ale představuje právě elektrolýza vody. Existuje několik druhů rozkládání vody: termochemická, fotochemická, fotelektrochemická a biochemická. Nejběžnější je však elektrolytická, kdy se do nádrže s vodou ponoří anoda a katoda, na které se přivede proud. Toto řešení je nyní slibné především pro své nízké nároky na údržbu a snadné ovládání. Nyní se pracuje na snížení nákladů, což je nyní hlavní překážkou pro další aplikace této technologie. Velmi populární jsou studie propojování elektrolytické výroby vodíku a fotovoltaických, případně větrných elektráren. Záleží na konkrétním místě. Tato technologie se dá použít i na off-shore projektech, kde je vody dostatek a energie je získávána z větru, nebo vln. Toto schéma je nazýváno power-to-gas, tedy přeměna energie na plyn.

Vyrobený vodík může být použit jednak jako výchozí surovina pro výrobu dalších chemických látek, ale také jako nosič energie. Při propojení s některým z obnovitelných zdrojů energie, ale narážíme na potřebu vysokého proudu. [14] [15]

7. Definice zadání

Konkrétním předmětem této práce je doporučit energetické řešení daného případu. Jedná se o přístavbu nové výrobní haly s technologií kataforetického lakování výrobků, které se již na místě vyrábí. Vzhledem k historickému vývoji místa je ale zasilování špatné, je tedy nutno hledat méně konvenční způsob dopravy energie. Provoz se předpokládá třisměnný, odpadájí tedy starosti s častými náběhy linky.

Stávající řešení spoléhá výhradně na elektrickou energii, přiváděnou zastaralým vedením, které svými kapacitami již nedostačuje. Ekonomicky je toto řešení také nevýhodné, protože elektřina ani přes svou klesající cenu nemůže soupeřit například se zemním plynem, je nutné platit za velký rezervovaný výkon kvůli náběhům strojů nebo případným haváriím.

Druhý aspekt je ekologičnost a i jistá logika, protože nezanedbatelná část elektřiny je ve stávajícím řešení zpětně přeměňována v energii tepelnou, což je se současnými účinnostmi i špičkových technologií nevhodné.

7.1. Technologie KTL

Kataforetické lakování je nejpokrokovější masově používanou povrchovou úpravou, která se prosadila zejména v automobilovém průmyslu, díky velkému důrazu na odolnost vůči korozi. Tato technologie vykazuje výborné výsledky i v dalších hodnocených aspektech – kvalita povrch, ekonomičnost a ekologie. O principu technologie napovídá již název. Výrobek je ponořen do lázně, kterou protéká stejnosměrný proud, jako katoda. Molekuly epoxidové barvy v roztoku se chovají jako kationty a ulpí na výrobku. Ten se poté opakovaně oplachuje od přebytečného laku a následně jde do pece na vypálení. To probíhá při teplotě asi 180 °C, v závislosti na použitém laku.

V příložené tabulce je seznam plánovaného zařazení jednotlivých operací a jejich parametrů. Okamžitě vidíme, že samostatnou kapitolou je pec na vypalování. Protože nepotřebujeme tak dokonalou regulaci teploty, jakou poskytuje pec elektrická, můžeme použít pec plynovou, která vyjde v provozu podstatně levněji. Pro ohřev lázně je maximální teplota udávána až 70°C, většina z nich má ale teplotu provozní, nepotřebují tedy žádný tepelný výměník. Oproti tomu přímo kataforetická část

se bez elektrické elektřiny logicky neobejde, stejně tak vzduchotechnika a napájení manipulačního systému. Už nyní tedy vidíme, že ideálně půjde o nějakou kombinaci technologií, které vyrobí jako tepelnou, tak elektrickou energii.

Dále bychom mohli do návrhu nového energetického řešení zahrnout i stávající budovy v areálu, respektive jejich spotřebu, kterou by šlo pokrýt z nového zdroje. Jde o dohromady 130 kW elektrické energie pro vzduchotechniku.

8. Současně uvažovaná řešení

Nyní je zpracováno pět technologických možností, které počítají se špičkovým výkonem 1045 kW, zahrnující část KTL linky, vytápění haly s KTL technologií, ohřivače vzduchu ve stávajících budovách a ještě ohřivače pro další uvažovanou halu, která je plánována po výstavbě haly povrchových úprav.

8.1. Zemní plyn

Zemní plyn je tradičně nejlevnější fosilní palivo, jeho cena na komoditní burze je nyní zhruba 0,234 Kč/kWh, když klesla za posledních šest měsíců skoro o 50% z lednového dvouletého maxima. [16] Reálná cena v tarifu je samozřejmě jiná, při návrhu bylo počítáno 27,1 €/MWh tedy 0,732 Kč/kWh.

Jediná rozumná varianta jak přivádět zemní plyn je plynovodem. Ten ale na místě chybí, jelikož se jedná o odlehlou oblast. Stavba plynovodu je samozřejmě náročná záležitost, finančně i časově. Plánovaná délka odbočky je 6,6 kilometru a měla by být vedena zejména podél místní silniční komunikace. Mimo ceny realizace a projektové dokumentace je také potřeba připočítat platby za věcná břemena, které nejsou zanedbatelné. Tento plyn by následně byl spalován v kogenerační jednotce, která poskytuje jak tepelnou tak elektrickou energii, a tak dosahuje výjimečné účinnosti.

Nyní jsou v projektu uvažovány dva modely kogeneračních jednotek o rozdílném výkonu. Obě využívají spalovací motor a synchronní generátor. Při výběru jednotky je největším nebezpečím předimenzování. Jednotka musí běžet co nejvíce hodin v roce, aby se návratnost udržela na slušné úrovni. Tepelný výkon je vždy vyšší než výkon elektrický, proto se musíme zajímat i o něj. Není příliš hospodárné vypouštět přebytečné teplo například do chladicí věže. Také posílat přebytečnou elektrickou energii zpět do sítě není bez problému. Dotace na tento typ získávání energie se poskytovaly vždy jen jako zelený bonus, dotaci jste tedy mohli čerpat jen v případě, že jste elektřinu spotřebovali v místě výroby. Časté posílání přebytků do sítě tedy opět neprospěje návratnosti.

Naše hala bude mít plynovou polymerizační pec, výměníky pro ohřev lázní a vzduchotechniku určenou pro vytápění. Hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce

Technologie	Špičkový odběr [kW]	Provozní odběr [kW]
Polymerizační pec	Plyn	Plyn
Ohřev lázní	380	152
Vzduchotechnika	200	100
Celkem	580	252

Tabulka 3: Odběry KTL linky připravované haly

Ostatní odběry v areálu jsou tyto

Technologie	Špičkový odběr [kW]	Provozní odběr [kW]
Ohřívač vzduchotechniky stávající haly	100	50
Ohřívač vzduchotechniky administrativní budovy	30	15
Ohřívač budoucí haly	135	67,5
Celkem	265	132,5

Tabulka 4: Ostatní odběry v areálu

Pro vzduchotechniku nové haly jsou navrženy tzv. Sahary. Ty mohou pracovat s elektřinou i teplou vodou. Proto by mohla veškerá technologie (s výjimkou pece, která by spalovala plyn a chlazení by bylo napájeno elektřinou) fungovat jen z rozvodu teplé vody. Okruh by byl vyhříván primárně z tepelného výkonu kogenerační jednotky, byl by ale také připojen ke klasickému bojleru, který by spotřebovával elektrickou energii z jednotky. Celkový špičkový výkon je 845 kW, bez polymerizační pece a jmenovitý výkon jednotky je 521 kW. To znamená, že zbytek energie by byl pokryt z elektrické sítě a využit pro výrobu teplé vody do okruhu. Pokud ale uvažujeme spotřebu po náběhu, dostaneme se celkem na 385,5 kW, přičemž tepelný výkon jednotky je 321 kW. To jsou slibná čísla, bohužel se ale dostáváme k problému, který jsem zmínil na začátku – co s přebytečnou elektřinou. Tento problém je zde naštěstí vyřešen, jelikož v druhé hale v areálu jsou výkonné stroje, elektřina tedy může být bezzbytku spotřebována právě tam. Pokud by tomu tak nebylo, museli bychom se problémem zabývat. Jednotka v této konfiguraci má výkon 200 kW_e a druhá uvažovaná jednotka je méně výkonná. Jde o výkon 163 kW_e / 262 kW_t.

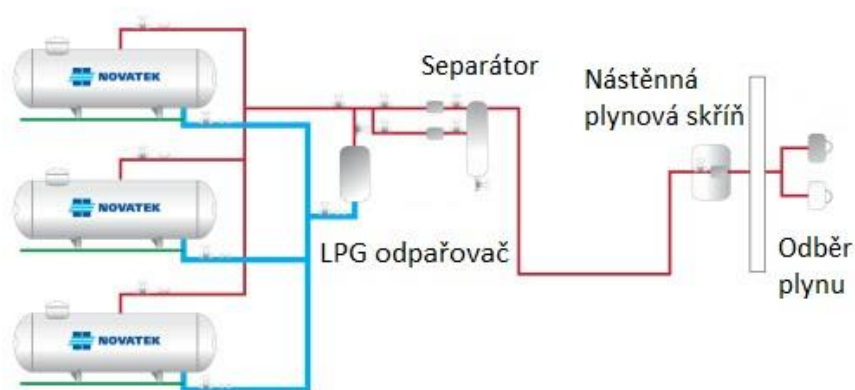
8.2. LPG

Stlačený plyn (Liquefied Petroleum Gas) má pro použití v odlehlých oblastech výhodu vyšší kalorické hodnoty – tedy na jednotku objemu uvolní více energie. Na místě by tedy byl nainstalován zásobník, který by byl průběžně doplňován cisternou dodavatele. Zásobníky mohou být nadzemní i podzemní, dají se pronajmout nebo koupit. Záleží pak na výši prvotní investice, od které se pak ale odvíjí následná cena propanu, nebo propan-butanu. Dodavatelé většinou nabízejí své služby jako komplet, tedy: projektová dokumentace, pronájem zásobníků, pronájem výparníku/ů, montáž, zákonné revize a následné dodávky paliva. Celá technologie se dá také pronajmout na základě dlouhodobého kontraktu. Opět tedy záleží na rozhodnutí, zda platit celou částku najednou, či zvolit dlouhodobý pronájem.

Jak popisuje schéma níže, první na cestě ze zásobníku je výparník. To je zařízení pro lepší odpar kapalného LPG pomocí jeho ohřevu. Zajišťuje konstantní získávání energie z paliva, pokud je okolní teplota příliš nízká na kvalitní odpar a celkově homogenizuje plynnou formu LPG, ať jde o čistý propan nebo propan-butan. [17] Následuje separátor, který oddělí zbytkovou kapalnou složku a dál už pokračuje velmi čistá plynná forma LPG pro lepší spalování.

Otázka je, zda použít „obvyklé LPG“, tedy směs propanu a butanu, nebo propan. Výhřevnost je zhruba stejná, 46,4 MJ/kg u propanu respektive 46,6 MJ/kg u propan-butanu. Jde tedy spíše o jeho další vlastnosti, než jen výhřevnost. Především je důležitá schopnost vypařovat se za nízkých teplot, zde se vracíme k významu a funkci výparníku. V našem případě by stačil jen jeden a bavíme se o rozdílu jednoho výparníku o výkonu 40 kilogramů za hodinu.

Srdce systému by byla opět kogenerační jednotka, která je schopna spalovat i LPG. To nás dostává k důležitému aspektu této technologie, tedy možnost částečně kombinovat zemní plyn a stlačený plyn. Stavba plynovodu je, jak už jsem zmínil, komplikovaná a časově náročná záležitost. Čas se navíc odvíjí od nutnosti získání několika povolení a dobrozdání od úřadů – nic určitého. Je tedy jistě namístě uvažovat jakýsi přechodný stav, kdy by byla zakoupena a nainstalována kogenerační jednotka a pec, pronajaty zásobníky a smlouvy dodávky LPG. Po dokončení plynovodu by továrna přešla na zemní plyn, samozřejmě s drobnými úpravami, ale například rozvody a armatury lze použít stejné.



Obrázek 5: Schéma LPG [39]

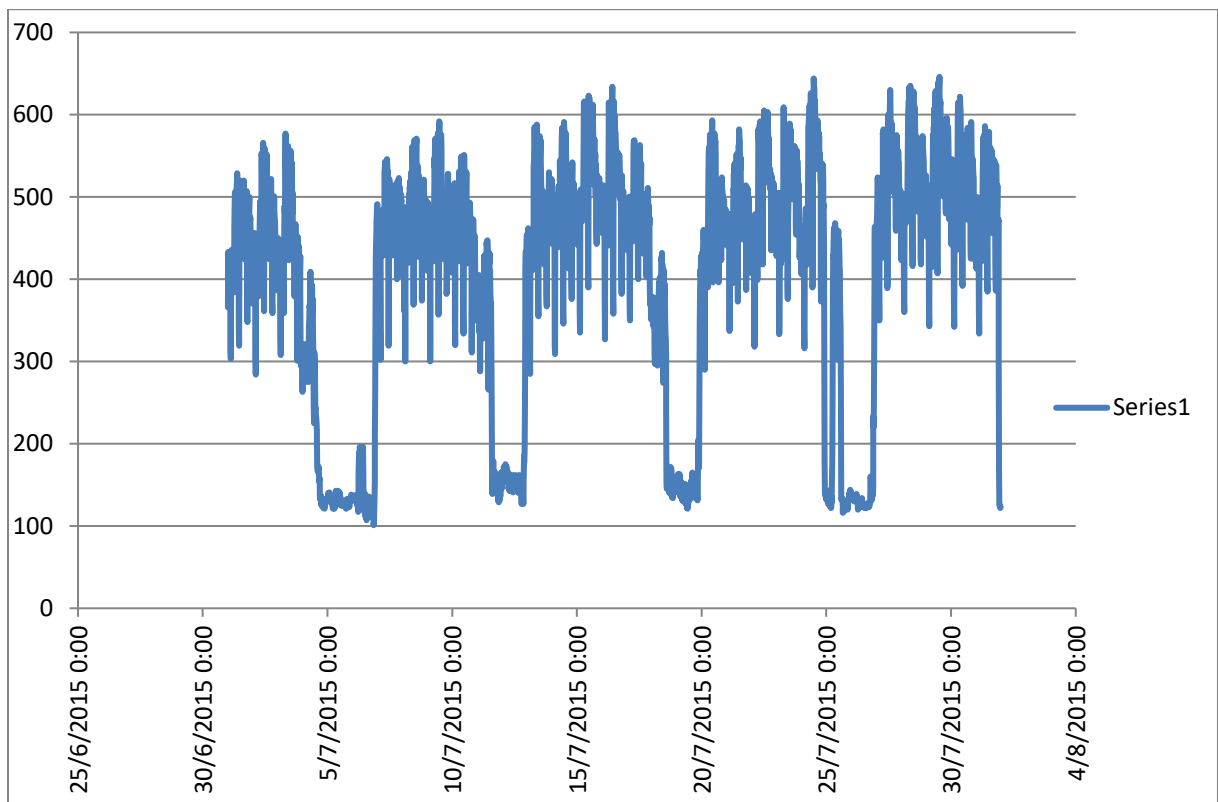
8.3. Elektřina

Nabízí se i nechat věci v nynějším stavu, tedy spoléhat se na stávající vedení a zajistit si odpovídající tarif od poskytovatele elektrické energie a smířit se s tím, že čím více elektřiny bude odebráno, tím bude dražší. Tato možnost je uvažována bez nutnosti investic, stávající vedení by tedy zůstalo v nynějším stavu, jinak by bylo nutné dobudovat infrastrukturu a vyřídit potřebná uzemní povolení a také dobrozdání od správce sítě, tedy od ČEPS.

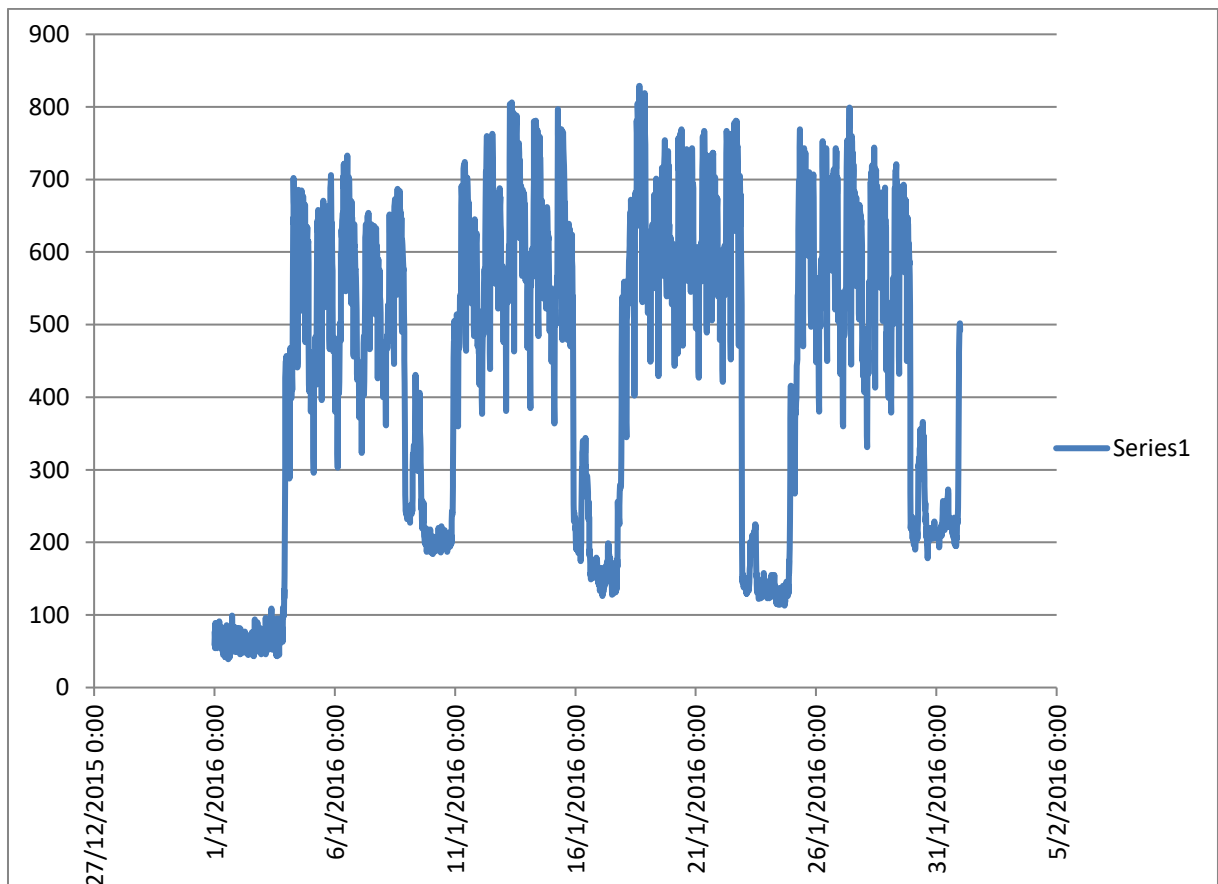
Zdá se tedy, že zůstat jen u elektřiny není špatné řešení. Pokud se ale podíváme na vybrané období spotřeby (letní a zimní měsíc, pro úplnost) zjistíme, že jsou zde velké výkyvy ve spotřebě. Data jsou pro nynější halu a administrativní budovu. S novou halou, kde je počítáno s třísměnným provozem, částečně odpadnou, stále ale bude veliký rozdíl mezi náběhem a následným zaběhlým stavem. Z toho plyne nutnost platit velké peníze za rezervovaný výkon a další věci s tím spojené. Elektřina také patří k dlouhodobě nejdražším energetickým komoditám. V dlouhodobém horizontu se proto ukazuje jako drahá alternativa k ostatním, v první fázi dražším a i složitějším technologickým řešením.

Tato skutečnost, tedy vysoká cena elektřiny, by se dala trochu zmírnit instalací solárního systému, konkrétně fotovoltaického, protože takto získaná elektřina je vykupována za výrazně vyšší ceny než elektřina získána klasickým způsobem, tedy z fosilních paliv. Pak se ale bavíme o další technologii a další návratnosti, kde je několik ne zcela dobře předpověditelných faktorů, jako je délka státní garance ceny vykupované elektřiny, stále klesající cena technologie, teoretickou možnost získání dotace a podobně.

Pro představu o současných odběrech jsem z ročních dat vybral dva měsíce.



Obrázek 6: Spotřeba elektřiny za červenec



Obrázek 7: Spotřeba elektřiny za leden

Jak je vidět, hodnoty odpovídají třísměnnému provozu mimo víkendy, rozdíly mezi zimním a letním měsícem jsou zhruba 200 kW, což je hodnota, kterou můžeme přičíst zejména vytápění.

8.4. Tepelné čerpadlo

Při konkrétním návrhu tepelného čerpadla je nejprve nutné zjistit, na jakém podloží objekt stojí. V našem případě byl geologický průzkum již proveden a výsledky jsou následující. Do necelých 2 metrů je půda převážně písčítá, což není příliš vhodné, protože písek se chová jako izolant a brání tak dobrému přestupu tepla do média přes stěnu trubky. Horizontální kolektor tedy není nejlepší řešení.

Dále v podloží je ale skála, která je pro vrtání vhodná. Navíc je zde i hladina podzemní vody, která oproti právě písčitym půdám teplo vede dobře. V tomto případě je tedy poměrně jasným řešením několik hlubinných vrtů.

To nás posouvá k otázce ceny. Pořizovací cena této technologie je v pořadí hned za variantou „plynovod“. Cena se totiž skládá ze dvou hlavních položek. Tou první je pořízení samotného tepelného čerpadla, druhou pak provedení zmiňovaných vrtů. Čerpadla jsou uvažována čtyři, každé o výkonu 79 kW. Dále je potřeba několika vrtů do hloubky asi 150 metrů. To opět přináší povinnost získat povolení od Českého báňského úřadu. Úspory jsou ale značné, mělo by se jednat o částku přesahující milion korun.

Technologickou výhodou je možnost chlazení v letních měsících, nebo takzvaná regenerace, kdy se přebytečné teplo posílá zpět pod zem a částečně se ukládá pro další použití. Velikou nevýhodou v našem konkrétním případě je ale poměrně nízká dosažitelná teplota média. Pro ohřívání nádrží na 70 °C samozřejmě nestačí stejná teplota média, je potřeba vzít v úvahu účinnost výměníku, ztráty vedením v potrubí a podobně. I proto je ale tepelné čerpadlo projektováno v kombinaci s jiným zdrojem/palivem.

A, Se stávajícím řešením, tedy elektřinou. Ve špičce při náběhu se rozdíl výkonu tepelného čerpadla pokryje elektřinou ze stávajícího vedení. Jde tedy o kombinaci nulové počáteční investice ale vysoké ceny energie u čistě elektrického řešení a vysokou počáteční investicí/minimální provozní cenou tepelného čerpadla s hlubinnými vrty. Pokud odhlédneme od potřeby vrtání vrtů, je i kombinace tepelného a elektrického výkonu poměrně snadnou a logickou záležitostí.

B, Tepelné čerpadlo v kombinaci s LPG. Stejně řešení jako v případě s LPG, jen bez kogenerační jednotky.

Hlavní úkol při návrhu tepelného čerpadla je určit dostatečnou délku potrubí pro získání požadované tepelné energie. Pro návrh je potřeba znát teplotu půdy, vlhkost, hladinu spodní vody, promrzání a geometrii tepelného výměníku.

Nejjednodušší návrh vede přes výpočet tepelného toku na jednotku délky vrtu. [18]

$$q_b = \frac{T_f(t) - T_b(t)}{R_b}$$

V čitateli vystupuje teplotní spád, tedy rozdíl mezi klidovou teplotou země a teplotou média v trubici, ve jmenovateli pak celkový teplotní odpor. Stanovování teplotního gradientu výpočtem je obsáhlá kapitola s mnoha teoretickými přístupy, které by vydaly na celou diplomovou práci. V praxi se používá takzvaného *Geothermal response testing*, tedy Testu geotermální odezvy, kdy se zjistí veškeré potřebné vlastnosti půdy pro návrh celého okruhu a tepelného čerpadla. Pravidla provádění se řídí normou ČSN EN ISO 17628, která upravuje dobu trvání, vrtání děr a ostatní. Po zjištění zejména součinitele teplotní vodivosti můžeme z hodnot vypočítat právě teplotní odpor [19]

$$R_B = \frac{H}{Q} (T_f - T_0) - \frac{1}{4\pi\lambda} (\ln(t) + \ln\left(\frac{4\alpha}{r_0^2}\right) - 0,5772)$$

Jak je vidět, ve vztahu vystupuje několik neznámých, které je možno získat jen provedením příslušného testu. Protože mi ale byla poskytnuta návrhová studie tepelných čerpadel pro tento konkrétní případ, můžeme si alespoň některé hodnoty uvést a dát do kontextu.

Typ půdy	Mokrý jíł
Aktivní délka smyčky	7 530 metrů
Měrný výkon/tepelná ztráta	27 W/m
Měrná energie	99 kWh/m
Teplotní spád	45/55 °C

Tabulka 5: Parametry uvažovaného tepelného čerpadla

Nyní lze například určit efektivní součinitel teplotní vodivosti λ_{ef}

$$\lambda_{ef} = \frac{Q}{k * 4 * \pi * H} = \frac{380 \text{ kW}}{(45 - 55) * 4 * \pi * 7530 \text{ m}} = 0,4 \text{ W/mK}$$

Pro srovnání, standardní hodnota udávaná pro suchou hlínu je 0,7 W/mK. Tepelný odpor R_b je typicky pro dvojitou U trubici 0,1 mK/W. [18]

9. Navržená řešení

9.1. Parabolické koryto

Nejprve bych se držel svého názoru z úvodu. Tedy že přeměňovat elektrickou energii, která byla získána z tepelné, zpět na tepelnou je nelogické. Právě to je mimo jiné kladná charakteristika kogenerační jednotky a tepelného čerpadla. Při tvorbě rešeršní části jsem narazil na případovou studii, která popisuje transformaci továrny na zmrzlinu v Turecku, kde nahradili stávající elektrické vytápění parního kotle solárním parabolickým korytem, které ohřeje médium proudící v trubici a následně vodu v kotli. V našem případě ani nepotřebujeme tak vysoké teploty, jako spíš větší výkon. Pro připomenutí, výměníky jsou nyní plánovány čtyři o výkonu 150 kW každý a dva po 20 kW. Podle svého značně detailního výpočtu došli autoři k následujícím hodnotám.

Výkon	55,19 kW
Délka	42,12 m
Energie dopadajícího slunečního záření	500 W/m ²
Teplota na výstupu z kolektoru	86 °C
Osvětlená plocha parabolického koryta	143,63 m ²

Tabulka 6: Parametry parabolického koryta z rešerše [4]

Protože ale neznám veškeré náležitosti tohoto výpočtu, inspiroval jsem se v jiných studiích, které se ale zabývají vždy specifickou složkou návrhu celého systému. Jako první tedy vezmu v potaz potřebnou velikost zrcadla. Jedná se sice o zjednodušený výpočet pro kruhové zrcadlo, pro představu nám ale nyní postačí. Dle [20] je plocha

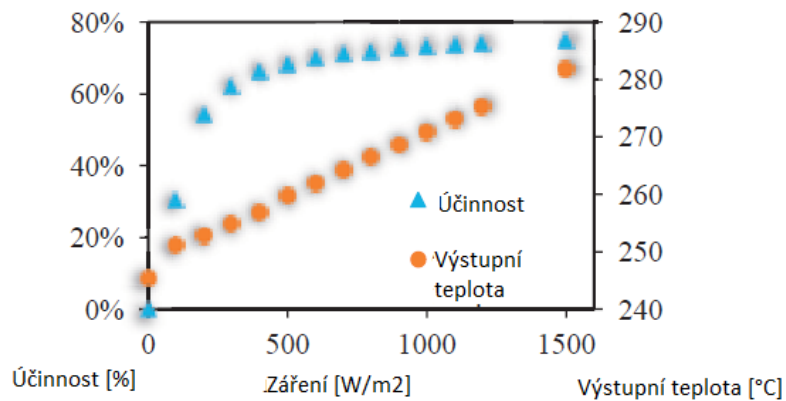
$$A = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

A následný minimální průměr zrcadla, za uvažování standardní výpočtové energie 1 kW/m²

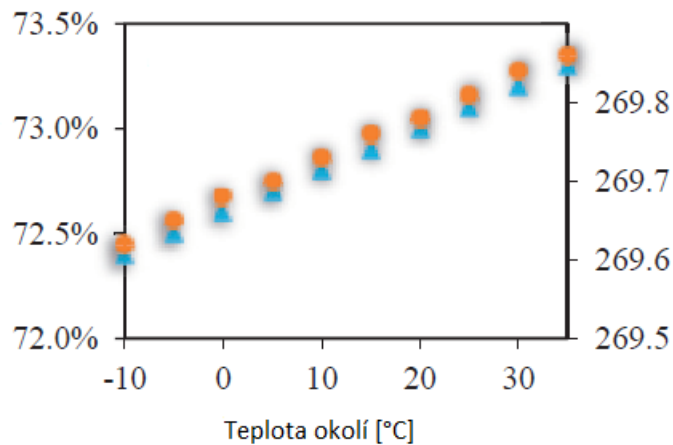
$$D_{min} = 2 * \sqrt{\frac{Q}{\pi * G}} = 2 * \sqrt{\frac{640 \text{ kW}}{\pi}} = 28,55 \text{ m}$$

Vidíme, že pro špičkovou spotřebu výměníků by bylo potřeba opravdu velké zrcadlo, které je navíc velmi křehké a jeho tvar není nejlépe skladný. Proto se používají parabolicky zakřivená zrcadla, která jsou spojena v jedné dlouhé řadě, formující tvar koryta. Kromě lepší skladnosti se také uchycují do rámu, který se může naklápět, a tak co neefektivněji zachytávat sluneční záření v průběhu dne.

Pro představu o účinnosti můžeme použít studii [21], která nejdříve za použití zákonitostí přenosu tepla nastínila závislost účinnosti parabolického systému na různých výsledcích, a poté experimentem tato data ověřovali. Studie byla původně vytvořena pro Brazílii, to znamená, že například sluneční záření má vydatnost 950 W/m^2 . Jak ale sám autor v závěru píše, program je dostatečně univerzální pro analyzování širokého spektra dat. Jako referenční solární kolektor byl použit model LS-3, tedy jeden z prvních komerčně vyráběných kolektorů, který se začal používat v roce 1989. Grafy hovoří o účinnosti následovně:



Obrázek 9: Závislost účinnosti a výstupní teploty na záření [21]



Obrázek 8: Závislost účinnosti a výstupní teploty na teplotě okolí [21]

Vidíme, že i pro značně stíněné záření se dostaneme na slušné hodnoty jak účinnosti, tak výstupní teploty média z kolektoru. Teplota okolí bude rozhodně minoritním faktorem. Pro vydatnost záření se můžeme řídit například touto tabulkou

Oblačnost	Tok slunečního záření G [W/m ²]
Žádná	800 – 1000
Lehká	400 – 700
Silná	100 – 300

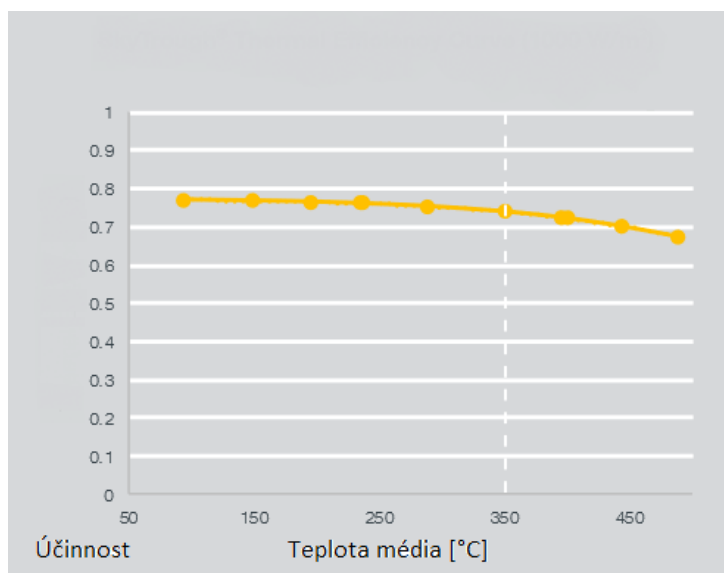
Tabulka 7: Vydatnost slunečního záření dle počasí [23]

Pokud se podíváme na konkrétní nabízené sestavy zrcadel, zjistíme, že jednotlivé segmenty se nenabízejí. Většinou jsou dodávány celé jednotky-řady. Ty sice mají přes sto metrů, nabízejí ale už poměrně zajímavé výkonové charakteristiky. Jako příklad uvedu produkt americké firmy SkyFuel [22], která své produkty dodává do solárních elektráren i pro průmyslové aplikace.

Délka instalce	115 m
Plocha kolektoru	656 m ²
Termální účinnost	Až 72 %
Výkon	480 kW

Tabulka 8: Parametry produktu SkyFuel [22]

Výkon 480 kW je samozřejmě maximální, počítá se sluneční energií 1000 W/m² a následně vysokou výstupní teplotou, průměrně 350 °C. Pokud se ale podíváme na předešlé grafy, již pro 660 W/m² by se měla účinnost blížit svému maximu, dokonce i u staršího typu kolektoru.



Obrázek 10 : Závislost teploty média na účinnosti systému [22]

Tato charakteristika popisuje termickou účinnost založenou na účinnosti optické a ztrátám tepla v přijímači. Vidíme, že s klesající teplotou média se hodnota nijak nezmenšuje, ba naopak. Jak je vidět na grafu (Obrázek 8), přesně takový dopad by měla mít relativně nižší energie slunečního záření.

Pokud tedy vyjdeme z údajů výrobce, který počítal s obecnou výpočtovou hodnotou 1000 W/m^2 , mohli bychom prostým vynásobením dojít k výkonu, který by zhruba soustava mohla poskytovat. Zde vyjdeme z definice celkové doby slunečního svitu " $\tau_{skut}(\check{C}R)$, doba kdy je vidět Slunce a hodnota ozáření je větší než 120 W/m^2 " [23]. Nyní jde o jakousi průměrnou hodnotu záření v těchto dnech. Pokud zvolíme poloviční hodnotu maximálního toku slunečního záření, dostaneme

$$Q = 480 \text{ kW} * \frac{500 \text{ W/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 240 \text{ kW}$$

To není ani polovina výkonu všech výměníků potřebných k ohřevu nádrží na KTL lince.

Je tedy otázkou, zda by toto zařízení v reálném provozu bylo dostačující. Jako u všech technologií spoléhajících na energii ze Slunce je velmi náchylné na počasí. Zadruhé, dopad slunečních paprsků není konstantní v průběhu roku. V zimě je počet slunečných dnů až desetkrát menší [24] a také úhel dopadu se liší. V zimních měsících by byl provoz z velké části odkázán opět na stávající elektrické vedení, stejně tak při špičkovém odběru při náběhu linky.

9.2. Fotovoltaické panely

Druhá možnost využití sluneční energie je fotovoltaika. Zde není motivací soběstačnost haly, ale dotované výkupní ceny takto vyrobené elektřiny. Ostrovní systém nemá smysl uvažovat, vzhledem k celoročnímu provozu. Míjení se výrobní a spotřební špičky v denním cyklu by se z části dalo vyřešit bateriemi, propad v zimních měsících je ale příliš velký a dlouhý, než aby byl nahrazen uskladněnou energií.

Pro alespoň částečnou simulaci použijí volně přístupný software SISIFO , který byl vytvořen v rámci programu PVCROPS [26] (PhotoVoltaic Cost r€duction, Reliability, Operational performance, Prediction and Simulation) Evropské komise.

Vstupní data byla: denní dávka slunečního záření v jednotlivých měsících, průměrná minimální a maximální teplota, instalovaný výkon, parametry použitého solárního panelu, umístění, použitý invertor a transformátor. Výpočtové parametry simulující chybu v jednotlivých zadaných parametrech byly ponechány na výchozí hodnotě. Následují vybrané vstupní hodnoty, které považuji za referenční, nebo se velkou měrou podílí na konečném výsledku. Nejdříve je to denní dávka slunečního záření $H_{T,den}$:

Měsíc	$H_{T,den}$ [Wh/m ²]
Leden	1800
Únor	2800
Březen	5000
Duben	6500
Květen	8500
Červen	9000
Červenec	8500
Srpen	6500
Září	5000
Říjen	2800
Listopad	1800
Prosinec	1200

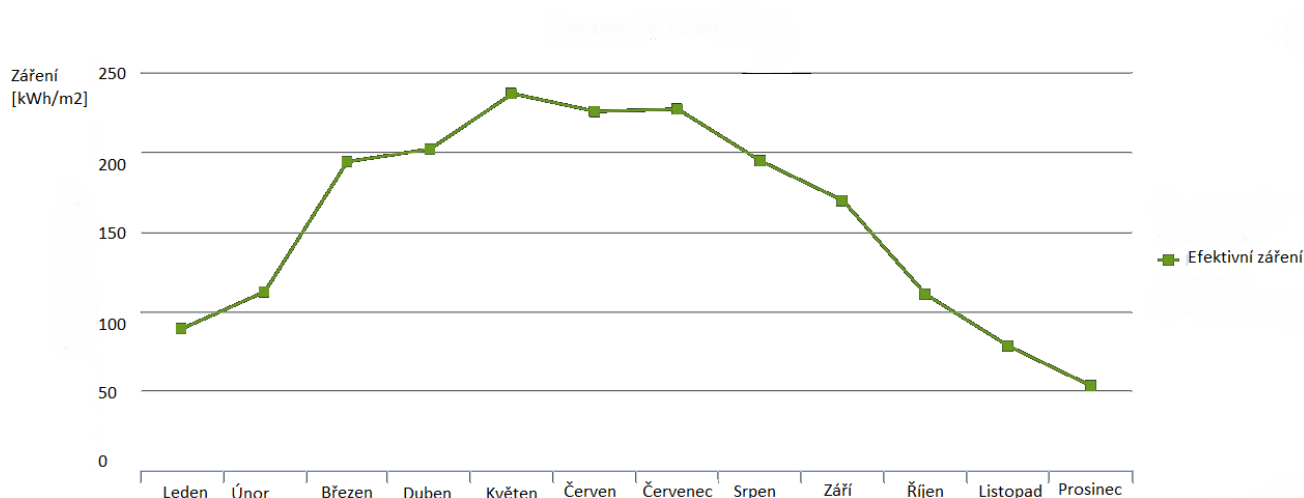
Tabulka 9: Denní dávka slunečního záření podle měsíců [23]

Další tabulka shrnuje vlastnosti běžně dostupného monokrystalického panelu:

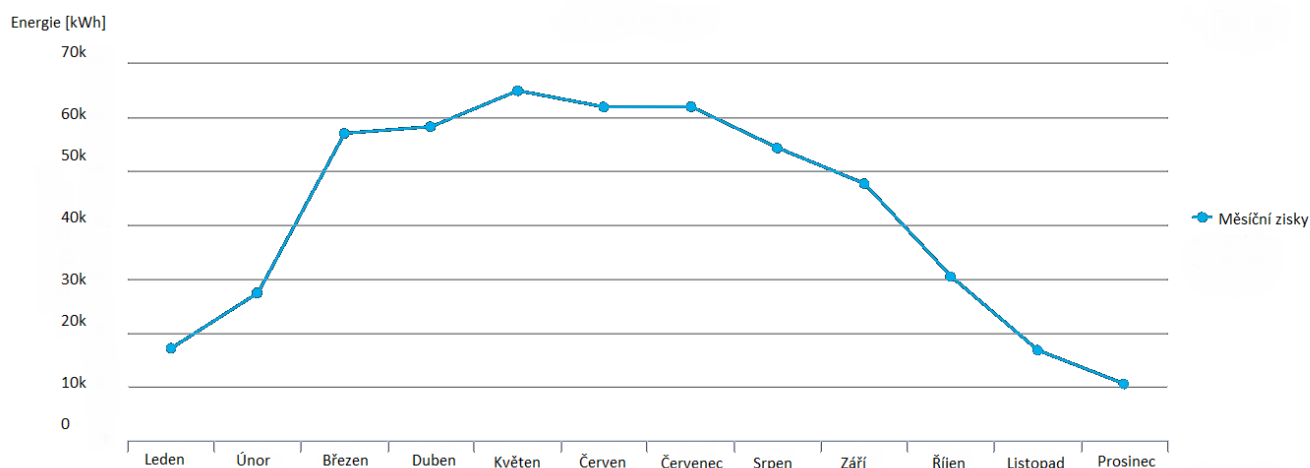
Výrobce	Q. Cells
Model	Q.PEAK-G4.1 300
Výkon	300 W
Rozměry	1,67 x 1 m
Normální pracovní teplota	45 °C
Teplotní koeficient	0,39 %/K
Celkový instalovaný výkon	300 kW
Počet panelů	1000 kusů
Plocha instalace (pouze panely)	1670 m ²
Váha panelů	18 800 kg

Tabulka 10: Parametry fotovoltaického panelu Q.PEAK [31]

Program vyhodnotil vstupní data a výsledek je následující:



Obrázek 11: Celkové sluneční záření [25]



Obrázek 12: Vyrobená elektrická energie [25]

Celková roční vyrobená energie je podle programu 502 991 kWh.

To, že lokalita je na české poměry vhodná potvrzuje i společnost ČEZ, která zde v roce 2010 koupila fotovoltaickou elektrárnu v blízkosti námi studované budoucí výrobní haly. Co bohužel není v souladu s námi prezentovanými daty, je prohlášení ohledně umístění této elektrárny. „V rámci této oblasti se s ohledem na přírodní podmínky jedná o jednu z nevhodnějších lokalit k umístění zařízení pro výrobu elektřiny ze slunečního záření. Průměrný roční úhrn globálního záření zde dosahuje až 3,8 tisíce MJ/m²“ [27], tedy asi 1,06 MWh/m². To je o 72 % méně než vstupní údaj, který jsem použil. Údaj je to ale souhrnný za celý rok, těžko jej tedy s rozumnou přesností rozpočítat mezi měsíce. Můžeme však,

pro hrubou představu, údaj lehce zkusit a předpokládat, že energie slunečního záření je ve vztahu v první mocnině. Například tento vztah tuto teorii potvrzuje [28]

$$E = A * r * H * PR$$

Poté by se dalo předpokládat, že množství ročně vyrobené elektřiny bude dle alternativního vstupního údaje

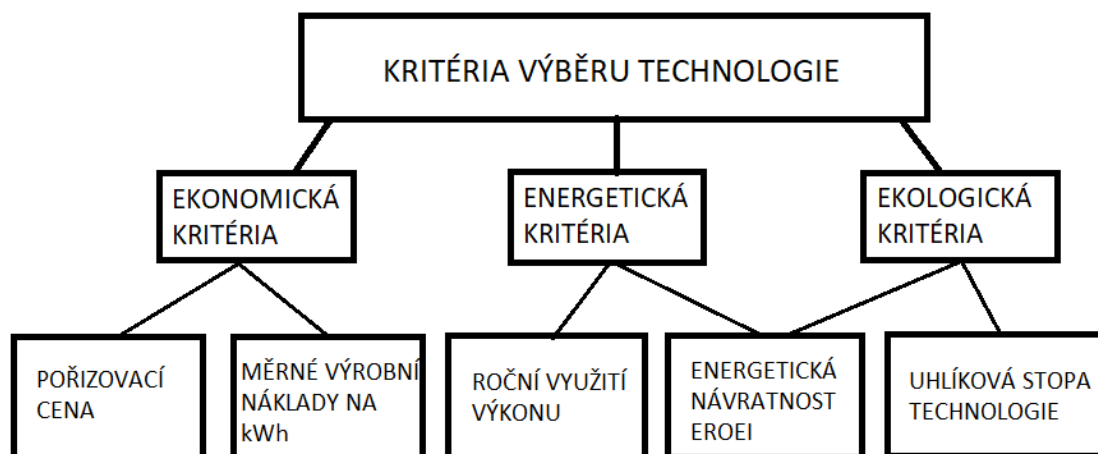
$$E_2 = E_1 * \frac{H_2}{H_1} = 502\,991 \text{ kWh} * \frac{1,06 \text{ MWh/m}^2}{1,825 \text{ MWh/m}^2} = 292\,145 \text{ kWh}$$

Dostali jsme tedy rozmezí zhruba mezi 0,5 MWh a 0,3 MWh vyrobené elektrické energie ročně, při optimálních podmínkách.

10. Vyhodnocení

10.1. Multikriteriální vyhodnocovací metoda

Po přečtení této studie [29], jsem se rozhodl použít podobnou, ale ne tolik komplexní metodu rozlišení vhodnosti jednotlivých řešení pro zadaný případ. Při výběru kritérií jsem se inspiroval částí „Hodnocení energetických technologií“.



Obrázek 13: Schéma použitých kritérií

Když máme zvolená kritéria, musíme zvolit metodu, kterou určíme jejich váhu pro budoucí vyhodnocení. Rozhodl jsem se pro *bodovací metodu*. Každému kritériu přidělím body od 1 do 10 a poté vyjádřím poměr bodů kritéria a součtu všech udělených bodů.

	P. Cena	Výr. náklady	Roč. v. výk.	EROEI	Uhlíková s.	SUMA
BODY	6	9	7	4	4	30
POMĚR	0,2	0,3	0,23	0,13	0,13	1

Tabulka 11: Kritéria a jejich váha

Jak je vidět, při hodnocení jsem kladl důraz spíše na ekonomické aspekty, protože nemá cenu navrhnout ideálně ekologické řešení, které ale investor kvůli pořizovacím a provozním nákladům zavrhne. Také jsem vycházel z faktu, že hlavní motivace investora je snížení nákladů za energie.

	P. cena	Výr. náklady	Rč. V. výk.	EROEI [32][33]	Uhlíková s. [34]
Zemní plyn	6 732 000	0,732	90	Až 20	440
LPG	694 850	1,973	90	15	520
Elektřina	0	2,32	100	25	700
Tepelné čerpadlo + LPG	5 394 850	1,26	90	14	30
Tepelné čerpadlo + elektřina	4 700 000	1,48	90	14	30
Parabolický kolektor	Cca 3 000 000 [30]	2,28	0,09	9,6	26
Fotovoltaické panely	Cca 5 000 000 [31]	1,21	10	3,5	50

Tabulka 12: Hodnoty parametrů

V této tabulce jsou uvedeny hodnoty kritérií uvažovaných technologií. Pořizovací cena mnou přidávaných technologií se zakládá na cenovém odhadu již zmíněných produktů z dostupných zdrojů. Cena za kilowatthodinu byla pro parabolický solární kolektor stanovena odečtením uvažované ročně vyrobené energie od nyní spotřebované elektrické energie a následným přepočtem stávající ceny přes poměrnou úsporu.

$$P = P_i * K_r = 480 \text{ kW} * 0,009 = 4,32 \text{ kW}$$

$$E = P * n_{hod,KTL} = 4,32 \text{ kW} * 5400 = 23\,328 \text{ kWh}$$

$$K_{kol.} = \frac{23\,328}{1\,444\,800} kWh = 0,0161$$

$$\Delta cena = cena_{el} * K_{kol.} = 2,32 \frac{kč}{kWh} * 0,0161 = 0,037$$

$$cena_{kol.} = cena_{el} - \Delta cena = 2,32 \frac{kč}{kWh} - 0,037 \frac{kč}{kWh} = 2,28 kč/kWh$$

, kde K_r je roční využití výkonu, $n_{hod. KTL}$ je roční časový fond KTL linky a $K_{kol.}$ je poměr vyrobené a spotřebované energie.

U fotovoltaických panelů jsem počítal s možnou vyrobenou elektrickou energií a výkupní cenou, kterou jsem uvažoval 4 Kč/kWh [35]. V dnešní době již není takto vyrobená elektřina přímo dotována, výrobce si musí sám dohodnout cenu s odběratelem, tedy energetickou společností. Vyrobenou elektřinu jsem se zde rozhodl uvažovat 400 000 kWh/rok, tedy někde uprostřed intervalu, ke kterému jsem dospěl. I tak jde nejspíš o velmi optimistický údaj. Jak ale prokáže výsledek vyhodnocování, pro konečné pořadí to nebude nijak podstatné.

$$\Sigma_{FvE} = E_{vyr.} * cena_{výk} = 400\,000 kWh * 4 \frac{kč}{kWh} = 1\,600\,000 kč$$

$$cena_{FvE} = \frac{\Sigma_{celk.} - \Sigma_{FvE}}{E_{celk}} = \frac{3\,346\,450 kč - 1\,600\,000 kč}{1\,444\,800 kWh} = 1,21 kč/kWh$$

, kde $E_{vyr.}$ je vyrobená elektřina, $cena_{výk.}$ je výkupní cena, Σ_{FvE} je částka utržená za vyrobenou elektřinu. Druhá rovnice poměrem stanovuje výslednou cenu elektřiny, při započítání „úspory“ z vyrobené elektřiny.

Nyní je na řadě stanovení pořadí variant. Opět jsem se rozhodl pro *bodovací metodu*. Pro každé kritérium vytvoříme 5 intervalů, podle maximální a minimální hodnoty. Následně přidělujeme body podle příslušností do intervalů. Následuje ukázka postupu pro kritérium „Pořizovací cena“

$$Krok\ intervalu = \frac{kriterium_{max} - kriterium_{min}}{n} = \frac{6\,732\,000 - 0}{5} = 1\,346\,400$$

Interval	6 732 000- 5 385 600	5 385 600 – 4 039 200	4 039 200 – 2 692 800	2 692 800 – 1 346 400	1 346 400 – 0
Body	1	2	3	4	5

Tabulka 13: Příklad přidělení bodů

Tento postup se opakuje u každého kritéria, až dostaneme následující souhrnnou tabulku, kde každé bodové hodnocení vynásobíme příslušnou váhou kritéria. Následně body sečteme a stanovíme pořadí.

	K1	K2	K3	K4	K5	%K1	%K2	%K3	%K4	%K5	Σ	=	=
ZP	1	5	5	4	2	0,2	0,3	0,23	0,13	0,13	$0,2+1,5+1,15+0,52+0,26$	3,63	1.
LPG	5	2	5	3	2	0,2	0,3	0,23	0,13	0,13	$1+0,6+1,15+0,39+0,26$	3,4	4.
EL	5	1	5	5	1	0,2	0,3	0,23	0,13	0,13	$1+0,3+1,15+0,65+0,13$	3,23	5.
TČ+LPG	1	4	5	3	5	0,2	0,3	0,23	0,13	0,13	$0,2+1,2+1,15+0,39+0,65$	3,59	2.
TČ+EL	2	3	5	3	5	0,2	0,3	0,23	0,13	0,13	$0,4+0,9+1,15+0,39+0,65$	3,49	3.
PAR	3	1	1	2	5	0,2	0,3	0,23	0,13	0,13	$0,6+0,3+0,23+0,26+0,65$	2,04	7.
FVE	2	4	1	1	5	0,2	0,3	0,23	0,13	0,13	$0,4+1,2+0,3+0,13+0,65$	2,68	6.

Tabulka 14: Souhrnná tabulka

Výsledky jsou jasně viditelné v posledním sloupci tabulky.

Krátká úvaha nad výsledky

Nejlépe vyšla varianta se zemním plynem, hlavně pro nízké ceny vyrobené kilowatthodiny a stabilitu dodávek. Nastavení parametrů tedy upozadilo hendikepy jako vysoká počáteční investice a vyšší uhlíková stopa. Hodnocení nezahrnovalo časovou náročnost přípravy a výstavby, proto je nutné zmínit, že toto řešení je otázkou asi tří let. Až po zdařilém vypořádání věcných břemen a ostatních majetkových poměrů se může začít s vlastní stavbou, doba realizace tedy závisí zejména na tomto.

Druhá skončila kombinace tepelného čerpadla a LPG. Znovu se jedná o řešení s vysokou pořizovací investicí, ale relativně nízkými provozními náklady. Jelikož se jedná o ekologickou technologii, je teoreticky možné na ni čerpat dotace. Ty jsou ale běžně určeny spíše rodinným domům a fyzickým osobám například v programu Zelená úsporám a podobně. Pro právnickou osobu by bylo potřeba získat specifičtější dotační titul.

Další je opět kombinace tepelného čerpadla, tentokrát s elektřinou. To se projevuje na nižší pořizovací ceně, ale vyšších nákladech do budoucna. Mimo uvažovaná kritéria je potřeba počítat s dalším negativem, a to nutností využití elektrické pece, pokud bychom nechtěli dovážet LPG jen pro tento účel. Oproti kombinaci TČ+LPG se ale jedná o jednodušší model, který se obejde bez dalšího druhu rozvodů.

Čtvrtá skončila kogenerační jednotka spalující LPG. Nízká počáteční investice nedokázala vynahradit vyšší cenu suroviny ani horší ekologické vlastnosti. Díky dobré návaznosti na variantu ZP si ale zachovává šanci na realizaci.

Současný stav, spoléhající pouze na elektrickou síť je nežádoucí právě kvůli vysokým nákladům. To se potvrdilo i v tomto srovnání. Nulová počáteční investice ani dobrá energetická návratnost nedokázaly překonat tento klíčový faktor. V různé míře se ale s elektrickou energií z centrální soustavy počítá nadále, právě pro její klíčovou vlastnost – permanentní dostupnost.

Třetí kritérium způsobilo značný propad obnovitelných zdrojů. Důvod, proč jsem ho i přesto zahrnul je následující. Energie vyrobená přímo v areálu výrobního závodu by v něm měla být i spotřebována. Pohlížíme na případ jako na odlehlou oblast, není tedy vhodné kalkulovat s přenosovou soustavou jako s hlavním zdrojem i po zapojení nového systému. Další s tím související charakteristika solární energie je malá denní dávka záření v zimních měsících. Tedy právě v období zvýšené spotřeby haly v důsledku vytápění. Pro fotovoltaické řešení byla dalším hendikepem energetická návratnost, v důsledku používání křemičitých krystalů a těžkých kovů při výrobě.

10.2. Návratnost

V předchozím srovnání vystupovala návratnost jen nepřímo. Pro její názornost ji ale uvedu i samostatně. Nemá totiž smysl navrhovat technologické řešení, které investor pro jeho ekonomickou stránku zamítne. Právě návratnost může být pro větší firmy s dobrou možností úvěrování klíčovým ukazatelem.

	Úspora za rok [Kč]	Investice [Kč]	Návratnost [rok]
Zemní plyn	2 289 290	6 732 000	2,94
Propan	1 903 962	543 766	0,29
Propan Butan	2 005 387	673 341	0,34
Tepelné čerpadlo + PB	1 520 559	5 394 850	3,55
Tepelné čerpadlo + el	1 202 609	4 700 000	3,91
Kolektor	52 306	3 000 000	57,35
PV	1 598 242	5 000 000	3,21

Tabulka 15: Návratnost

Návratnost je zde počítána prostým poměrem mezi investicí a výnosem. V našem případě je výnosem vlastně úspora oproti současnému stavu. Hodnoty se shodují s cenami za kWh ze souhrnné tabulky parametrů a celková spotřeba je z průmyslových dat, která mám k dispozici.

$$\text{Návratnost} = \frac{\text{Investice}}{\text{Roční náklady na kWh z elektřiny} - \text{Roční náklady na kWh nově}}$$

Je zde počítáno pouze s cenou, režijní náklady (servis, pojištění...) nejsou započítány. Taktéž časová hodnota peněz nebyla uvažována, jsou tedy lehce znevýhodněna řešení, která mají relativně nízkou pořizovací cenu, ale vyšší náklady.

Pro úplnost přikládám i tabulku celkových nákladů (Total cost of ownership, CaPex+OpEx)

	Za 5 let [Kč]	Za 10 let [Kč]	Za 20 let [Kč]
Zemní plyn	12 017 801	17 303 602	27 875 203
Propan	7 756 208	14 968 649	29 393 532
Propan Butan	7 378 658	14 083 975	27 494 608
Elektřina	16 732 251	33 464 502	66 929 004
Tepelné čerpadlo + PB	14 524 308	23 653 766	41 912 682
Tepelné čerpadlo + el	15 419 204	26 138 407	47 576 815
Kolektor	19 470 720	35 941 440	68 882 880
PV	13 741 040	22 482 080	35 964 160

Tabulka 16: Celkové náklady

Zde je součet kapitálových (počátečních) nákladů a nákladů operačních (provozních) za určitou dobu. V tomto přehledu se ukazuje síla řešení spoléhajícího na LPG. Investiční náklady u plynovodu jsou totiž tak vysoké, že ani nízké roční náklady „nedoženou“ malou investici u LPG.

10.3. Shrnutí

Porovnávali jsme sedm, respektive osm možných energetických řešení pro zadaný případ. Dvě z nich jsem sám navrhl a snažil se dopočítat přibližných výkonů a návratností. Zbylé mi byly poskytnuty vedoucím práce ve formě několika tabulek se vstupními daty nové haly s technologií KTL, základní nákladovou analýzou a u některých i předběžnou studií od možného dodavatele.

Mým úkolem tedy bylo znovu projít tyto data, zorientovat se v nich a sepsat jejich charakteristiky. Jako vodítko pro konečný výběr konkrétního řešení, nebo jejich kombinace, jsem se rozhodl použít multikriteriální vyhodnocovací metodu. Kritéria byla následující: pořizovací cena, měrné výrobní náklady, roční využití výkonu, energetická návratnost a uhlíková stopa. V tomto srovnání vyšla nejlépe varianta Zemní plyn, následována oběma kombinacemi s tepelným čerpadlem. Všechny tyto varianty mají vysoké investiční náklady, jejich návratnost se pohybuje od tří do čtyř let, bez uvažování inflace. Vítězná technologie je ale složitá stavbou plynovodu, proto je namístě uvažovat o kombinaci s LPG. Zde by se využila velmi rychlá návratnost a následný dobrý přechod na zemní plyn.

V konečném důsledku se tedy jedná o dilema fosilní/obnovitelné zdroje. Na rozdíl od běžných situací, kde je na výběr mezi těmito variantami se zde ale smazal rozdíl v pořizovací ceně a návratnost je u všech technologií podobně dobrá.

Jako nízkonákladová varianta přichází v úvahu i LPG, to ale ve srovnání lehce propadlo kvůli ekologickým kritériím a jak ukazuje tabulka celkových nákladů, za 20 let ho dostihne právě varianta Zemní plyn.

11. Závěr

Cílem práce bylo získat představu o možnostech energetických řešení ve vzdálených oblastech, zpracovat rešerši na toto téma a následně se pokusit doporučit řešení pro konkrétní případ, a to sice přístavbu nové haly s technologií kataforetického lakování výrobků ze stejného areálu, který se nachází na místě se špatnou dostupností konvenčních síťových energetických zdrojů.

V rešeršní části jsem se zaměřil jak na obnovitelné, tak na konvenční energetické zdroje. Od dnes již obvyklých větrných nebo solárních elektráren po experimentální a nadějně technologie skladování energie jako zeolit nebo hydridy. Celkově bych řekl, že kromě vylepšení stávajících systémů pro získávání energie je velkou výzvou právě vyřešení patřičných úložišť, mobilních i stacionárních. Pro mě osobně je například power-to-gas technologie vyrábějící vodík velmi slibnou alternativou k dnešnímu přímému napojení na síť.

V druhé části své práce jsem se již věnoval konkrétně zadanému případu a datům, která jsem obdržel. Snažil jsem se popsat princip jejich fungování v tomto případě, a kde byla možnost, provedl jsem doplňující výpočty, které jsem vyhledal v příslušné literatuře. Poté jsem navrhl dvě vlastní možnosti dodávek energii pro plánovaný objekt. Obě dvě spoléhají na energii ze slunečního záření. V případě fotovoltaických panelů jsem se dostal k poměrně vysoké roční produkci vzhledem k ostatním údajům z podobných zařízení v České republice. Věřím ale, že na konečný výsledek to nemělo vliv, neboť roční využitelnost této technologie není v našich podnebných podmínkách příliš vysoká. Dále jsem přešel k parabolickému kolektoru, což je řešení, které jsem našel při tvorbě rešerše. Opět se bohužel ukázalo, že v našich podmínkách nejsou obnovitelné zdroje tohoto druhu konkurenceschopné.

Budoucí rozšíření práce by mohlo pokračovat v navrhování dalších alternativ, bojím se ale, že nejracionálnější varianty (tedy řešení závislé na plynu, případně doplněné o tepelné čerpadlo) již byly rozpracovány na dostatečné úrovni, šlo by tak pouze o teoretické studie. Případně by se dala zapracovat i možná grantová politika u jednotlivých technologií.

12. Seznam použité literatury

1. *Renewable Energy: An International Journal*. Kidlington: Elsevier, 2011, **36**(7). ISSN 0960-1481.
2. LI, Qin-Yi, Qun CHEN a Xing ZHANG. Performance analysis of a rooftop wind solar hybrid heat pump system for buildings. *Energy and Buildings* [online]. 2013, **65**, 75-83 [cit. 2017-08-22]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.05.048. ISSN 03787788. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037877881300337X>
3. Timeline of solar cells. *Wikipedia* [online]. [cit. 2017-08-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_solar_cells
4. DINCER, Ibrahim, Can Ozgur COLPAN a Onder KIZILKAN. *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions*. 1. Cambridge (Massachusetts): Academic Press, 2017. ISBN 9780128137345.
5. TODORAN, Tudor P. a Mugur C. BALAN. Long term behavior of a geothermal heat pump with oversized horizontal collector. *Energy and Buildings* [online]. 2016, **133**, 799-809 [cit. 2017-08-22]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.10.037. ISSN 03787788. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778816312889>
6. Typy geotermálních systémů. *České nápady* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: <http://tema.ceskenapady.cz/tema-typy-geotermalnich-systemu-163033.html>
7. Geotermální vrty. *GE-TRA* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: <https://www.ge-tra.cz/problematiky/geotermalni-vrty>
8. *TEDOM: Kogenerační jednotky* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com>
9. *Capstone Turbine* [online]. [cit. 2017-08-23]. Dostupné z: <https://www.capstoneturbine.com/>
10. POULLIKKAS, Andreas. A comparative overview of large-scale battery systems for electricity storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2013, **27**, 778-788 [cit. 2017-08-22]. DOI: 10.1016/j.rser.2013.07.017. ISSN 13640321. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032113004620>
11. GUPTA, Ram B. *Hydrogen fuel: production, transport, and storage*. Boca Raton: CRC Press, c2009. ISBN 9781420045758.
12. KRÁTKÝ, Štěpán. *Výroba a uskladnění vodíku*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
13. JOHANNES, Kéryn, Frédéric KUZNIK, Jean-Luc HUBERT, Francois DURIER a Christian OBRECHT. Design and characterisation of a high powered energy dense zeolite thermal energy storage system for buildings. *Applied Energy* [online]. 2015, **159**, 80-86 [cit. 2017-08-22]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.08.109. ISSN 03062619. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261915010454>
14. DOS SANTOS, Kenia Gabriela, Caroline Thaís ECKERT, Eduardo DE ROSSI, Reinaldo Aparecido BARICCATTI, Elisandro Pires FRIGO, Cleber Antonio LINDINO a Helton José ALVES. Hydrogen production in the electrolysis of water in Brazil, a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2017, **68**, 563-571 [cit. 2017-08-22]. DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.128. ISSN 13640321. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032116306372>
15. BHATTACHARYYA, Rupsha, Apurva MISRA a K.C. SANDEEP. Photovoltaic solar energy conversion for hydrogen production by alkaline water electrolysis: Conceptual design and analysis. *Energy Conversion and Management* [online]. 2017, **133**, 1-13 [cit. 2017-08-22]. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.11.057. ISSN 01968904. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890416310664>
16. Zemní plyn - aktuální a historické ceny zemního plynu. <http://www.kurzy.cz/> [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: http://www.kurzy.cz/komodity/zemni-plyn-graf-vyvoje-ceny/nr_index.asp?A=5&idk=43&od=29.9.2003&curr=CZK&default_curr=USD&unit=1%20MJ&lg=1

17. Alternativní zdroje energie. *Www.proferplyn.cz* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: <http://www.proferplyn.cz/?m=33>
18. EICKER, Ursula. *Energy efficient buildings with solar and geothermal resources*. 1. Chichester, West Sussex: John Wiley, 2014. ISBN 9781118352243.
19. ČSN EN ISO 17628. *Geotechnický průzkum a zkoušení - Geotermální zkušební metody - Stanovení tepelné vodivosti zemin a hornin geotermálními výměníky ve vrtech*. 2015.
20. PRINSLOO, Gerro a Robert DOBSON. *SOLAR TRACKING*. 1. Stellenbosch: Stellenbosch: SolarBooks, 2015. ISBN 978-0-620-61576-1.
21. SIQUEIRA, Antônio Marcos de Oliveira, Paulo Eduardo Neves GOMES, Larissa TORREZANI, Eliene Oliveira LUCAS a Geraldo Magela da Cruz PEREIRA. Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Collector: An Analysis. *Energy Procedia* [online]. 2014, **57**, 401-410 [cit. 2017-08-23]. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.10.193. ISSN 18766102. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610214015604>
22. SkyTrough Brochure. *Www.skyfuel.com* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: http://www.skyfuel.com/wp-content/uploads/Brochure-SF-SkyTrough_EN.pdf
23. JIŘÍČEK, Ivo. Podklady k přednáškám: Alternativní zdroje energie, VŠCHT. 2012
24. Průměrné měsíční doby slunečního svitu ve vybraných lokalitách ČR. *TZB-info* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/99-prumerne-mesicni-doby-slunecniho-svitu-ve-vybranych-lokalitach-cr>
25. *SISIFO* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: <http://www.sisifo.info/>
26. PhotoVoltaic Cost r€duction, Reliability, Operational performance, Prediction and Simulation. *Community Research and Development Information Service* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: http://cordis.europa.eu/project/rcn/105879_en.html
27. Fotovoltaické elektrárny Ralsko a Mimoř. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/slunce/provozovane-fotovoltaicke-elektrarny/fotovoltaicka-elektrarna-ralsko.html>
28. How to calculate the annual solar energy output of a photovoltaic system? *Photovoltaic software* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: <http://photovoltaic-software.com/PV-solar-energy-calculation.php>
29. ROJAS-ZERPA, Juan C. a Jose M. YUSTA. Application of multicriteria decision methods for electric supply planning in rural and remote areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2015, **52**, 557-571 [cit. 2017-08-22]. DOI: 10.1016/j.rser.2015.07.139. ISSN 13640321. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115007868>
30. Life Cycle Assessment of a Parabolic Trough Concentrating Solar Power Plant and Impacts of Key Design Alternatives. *National Renewable Energy Laboratory* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/52186.pdf>
31. Q.ANTUM ULTRA SOLAR MODULE. *Solar Partner* [online]. [cit. 2017-08-23]. Dostupné z: [http://shop.solarpartner.cz/pdf/hanwha_q_cells_data_sheet_qpeak-g4-1_295-305_2016-07_rev02_en_print%20\(1\).pdf](http://shop.solarpartner.cz/pdf/hanwha_q_cells_data_sheet_qpeak-g4-1_295-305_2016-07_rev02_en_print%20(1).pdf)
32. Energy Return on Investment. *World Nuclear Association* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/energy-analysis-of-power-systems.aspx>
33. Energy return on energy invested. *The Azimut Project* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: <http://www.azimuthproject.org/azimuth/show/Energy+return+on+energy+invested>
34. Carbon footprint of electricity generation. *Global energy network institute* [online]. [cit. 2017-08-23]. Dostupné z: http://www.geni.org/globalenergy/library/technical-articles/carbon-capture/parliamentary-office-of-science-and-technology/carbon-footprint-of-electricity-generation/file_9270.pdf
35. Za kolik dodavatelé vykupují elektřinu z fotovoltaiky? *Finance.cz* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/477630-vykup-fotovoltaicke-elektriny/>
36. HOFFMANN, Winfried. *The economic competitiveness of renewable energy: pathways to 100% global coverage*. 1. 100 Cummings Center, Suite 541J Beverly, MA 01915-6106: Scrivener Publishing, 2014. ISBN 9781118939277.

37. MURTHY, KR; RAHI, OP. A comprehensive review of wind resource assessment. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 72, 1320-1342, May 15, 2017. ISSN: 13640321
38. *Schéma kogenerace* [online]. In: . [cit. 2017-09-14]. Dostupné z: <http://www.gentec.cz/cz/o-kogeneraci/co-je-kogenerace>
39. Novatek: LPG. *Novatek* [online]. [cit. 2017-09-15]. Dostupné z: <http://www.novatek.pl/LPG/rozwiazania-dla-firm>